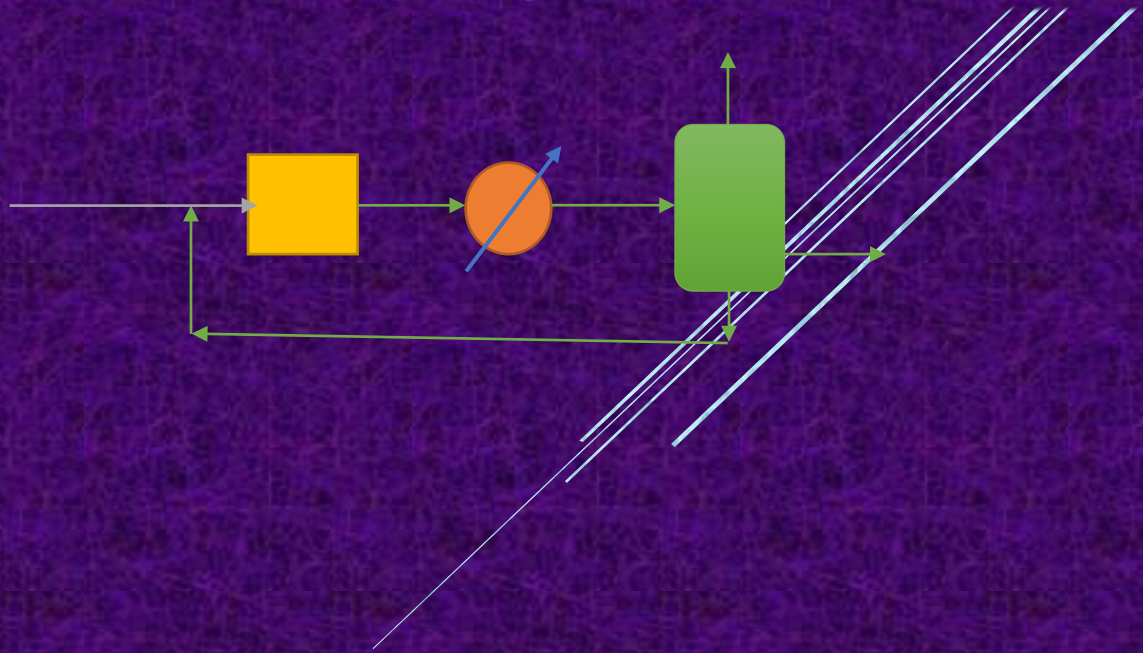
اساسيات الهندسة الكيميائية

محمد تقي الكامل



كتا ب ثنائي اللغة - باللغتين العربية والانكليزية

A BILINGUAL TEXTBOOK - ENGLISH / ARABIC

FUNDAMENTALS OF CHEMICAL ENGINEERING

Mohamed Taki Al Kamil

اساسيات الهندسة الكيميائية

الدكتور محمد تقي الكامل

Bilingual textbook **كتاب ثنائي اللغة**

Fundamentals of Chemical Engineering

Dr Mohamed Taki Al Kamil

اقدم هذا الكتاب الى طلاب الهندسة الكيميائية في العالم العربي (تنزيل مجاني)

This book is offered as free download to Chemical Engineering students in the Arab world

M.Taki Al Kamil 2024 محمد تقي الكامل

About the Author

Dr Mohamed Taki Al Kamil received his BSc hrs in chemical engineering from the University of Leeds - United Kingdom in 1973. He completed his PhD in the field of thermal radiation at the same university in 1976. He worked in the Iraqi oil and gas industry and joined the college of engineering - University of Basra as a lecturer in 1981. After promotion to Assistant Professor (Associate Professor), he assumed the position of Head of Chemical Engineering Department during the period 1991-1997. He published a number of research papers in the fields of solar energy and desalination. After serving 6 years as the head of department, he joined the UAE University as a visiting professor in 1997. Dr Taki worked at the Higher Colleges of Technology from Jan/1998 to Dec/2008. During the period 2003-2008, he assumed the role of department chair for the chemical and mechanical departments in Abu Dhabi Men's college. He then joined Abu Dhabi Vocational Education and Training Institute (ADVETI) in Dec/2008. After three years of academic management, he was promoted to be the Director of Al Reef Institute of Logistics and Applied Technology. Dr Taki retired at the end of the academic year 2016-2017.

Dr Taki is the author of three bilingual books: Fluid Mechanics, Heat Transfer and Thermodynamics.

نبذة عن المؤلف

حصل **الدكتور محمد تقي الكامل** على شهادة البكالوريوس - شرف في الهندسة الكيميائية من جامعة ليدز- المملكة المتحدة عام 1973 وحصل على شهادة الدكتوراه في موضوع الاشعاع الحراري من نفس الجامعة عام 1976. عمل في مؤسسات النفط والغاز العراقية لغاية عام 1981. ثم انتقل الى كلية الهندسة في جامعة البصرة بدرجة مدرس, وبعد ترقيتة الى استاذ مساعد (استاذ مشارك) تولى منصب رئيس قسم الهندسة الكيميائية في الفترة 1991-1997. نشر عدداً من الابحاث في مجالات الطاقة الشمسية وتحلية المياه. التحق بجامعة الامارات العربية المتحدة كاستاذ زائر عام 1997 ثم انضم الى كليات التقنية العليا في ابو ظبي عام 1998، وشغل منصب رئيس القسم لفرعي الهندسة الكيميائية والميكانيكية في الفترة 2003 – 2008. انتقل الى معهد ابو ظبي للتعليم والتدريب المهني في نهاية عام 2008، وبعد ثلاث سنوات من العمل الاداري الاكاديمي رُقي الى منصب مدير معهد الريف للامداد والتكنولوجيا التطبيقية (DIRECTOR). تقاعد الدكتور محمد تقي في نهاية العام الدراسي 2016 - 2017.

الدكتور محمد تقي هو مؤلف ثلاثة كتب ثنائية اللغة: ميكانيك الموائع و انتقال الحرار وديناميك الحراره.

SYMBOLS

الرموز

Quantity	الوحدات Units	الرمز Symbol	ألكمية
Cross section area	m^2	A	مساحة المقطع العرضي
Constant pressure specific heat	kJ/kgK	C_P	الحرارة النوعية بثبوت الضغط
Constant volume specific heat	kJ/kgK	C_v	الحرارة النوعية بثبوت الحجم
Diameter of a pipe	m	D	قطر الانبوب
Total energy	J, kJ	E	الطاقة الكلية
Force	N, kN	F	القوة
Gravitational acceleration	m/s^2	g	التعجيل الجاذبي
Enthalpy	J, kJ	H	الانثالبي
Molar enthalpy	kJ/gmol	$\breve{H}$	الانثالبي المولية
Specific enthalpy	J/kg, kJ/kg	$\breve{h}$	الانثالبي النوعية
Enthalpy per unit time	J/s, kJ/s	$\dot{H}$	مقدار الانثالبي لكل وحدة زمن
Humidity	kg /kg	H	الرطوبة
Pressure head	m	h	عمود الضغط
Kinetic energy	J, kJ	KE	الطاقة الحركية
Mass	kg	m	الكتلة
Mass flow rate	kg/s	$\dot{m}$	معدل الجريان الكتلي
Molecular weight	kg/kmol	M	الوزن الجزيئي
Average molecular weight	kg/kmol	$\bar{M}$	متوسط الوزن الجزيئي
Number of moles	-	n	عدد المولات
Number of moles for component i	-	n_i	عدد مولات العنصر (i)
Nusselt number	-	Nu	رقم نسلت
Pressure	Pa, kPa	P	الضغط
Atmospheric or standard pressure	Pa, kPa	P_o	الضغط الجوي او الضغط القياسي
Prandtle number	-	P_r	رقم براندتل
Potential energy	J, kJ	PE	الطاقة الكامنة
Heat quantity per unit mass	J/kg, kJ/kg	q	كمية الحرارة لوحدة الكتلة
Heat quantity	J, kJ	Q	كمية الحرارة
Heat input	J, kJ	Q_{in}	الحرارة المضافة
Rate of heat transfer	J/s, kJ/s	$\dot{Q}$	معدل انتقال الحرارة
Reynolds number	-	Re	رقم رينولدز
Specific gravity	-	SG	الثقل النوعي
Temperature	°C, K	T	درجة الحرارة
Standard temperature = 25°C	°C, K	T^o	درجة الحرارة القياسية = 25 درجة مئوية
Velocity	m/s	u	السرعة
Specific internal energy	J/kg, kJ/kg	$\breve{u}$	الطاقة الداخلية النوعية
Internal energy	J, kJ	U	الطاقة الداخلية
Specific volume	m^3/kg	v	الحجم النوعي
Volumetric flow rate	m^3/s	$\dot{V}$	معدل الجريان الحجمي
Work	J, kJ	W	الشغل
Shat work	J/s, kJ/s	$\dot{W}_{shaft}$	شغل عمود الدوران
Work done on the system	J/s, kJ/s	W_{in}	الشغل المبذول على المنظومة
Work done by the system	J, kJ	W_{out}	الشغل الذي تنجزالمنظومة
Weight	N, kN	Wt	الوزن
Mass fraction	-	x	الكسر الكتلي
Mole fraction	-	y	الكسر المولي
Height above a reference plane	m	z	الارتفاع فوق مستوى مرجعي

SYMBOLS　　　　　　　　　　　　الرموز

Quantity	الوحدات Units	الرمز Symbol	ألكمية
Greek symbols			**الرموز اليونانية**
Density	kg/m^3	ρ	الكثافة
Density of water	kg/m^3	ρ_w	كثافة الماء
Pressure drop or pressure difference	Pa , kPa	ΔP	انخفاض الضغط أو فرق الضغط
Rate of enthalpy change	kJ/s	$\Delta \dot{H}$	معدل التغير بالانثالبي
Change in enthalpy	kJ	ΔH	مقدار التغير بالانثالبي
Standard heat of combustion	kJ/gmol	$(\Delta \breve{H}^o_c$	حرارة الاحتراق القياسية
Standard heat of formation	kJ/gmol	$\Delta \breve{H}^o_f$	حرارة التكوين القياسية
Heat of reaction	kJ	ΔH_r	حرارة التفاعل
Standard heat of reaction	kJ	$\Delta H^o r$	حرارة التفاعل القياسية
Rate of sensible heat change	kJ/s	$\Delta \dot{H}_{i,sensible}$	معدل التغير في الحرارة المحسوسة
Extent of reaction	moles	ζ	مدى تقدم التفاعل
Stoichiometric coefficient	-	ν	معامل التكافؤ الكيميائي
Coefficient for component i	-	ν_i	معامل التكافؤ للعنصرالكيميائي (i)

Note: The symbols are arranged alphabetically.　　　　ملاحظة: الرموز باللغة الانكليزية مرتبة ابجدياً

CONTENTS | Page No. رقم الصفحة | المحتويات

CONTENTS	Page No. رقم الصفحة	المحتويات

CONTENTS	Page No. رقم الصفحة	المحتويات

CONTENTS Page No. رقم الصفحة المحتويات

Preface

The book covers the basic calculations in Chemical Engineering at a level suitable for undergraduate students in the Arab countries. The text is written in both Arabic and English on the same page to help students to understand the important topics in this field. The author has adopted a simplified style enhanced by illustrative examples in preparing the text of the book. The first chapter is an introduction to chemical engineering, including identifying industrial unit operations and drawings related to industrial units. The introduction also covers engineering parameters and variables in addition to the units of measurements. Chapter 2 deals with material balance application to industrial unit operations such as distillation, drying, crystalliz-ation and absorption. In chapter 3, more advanced material balances are formulated for bypass systems, recycle and across more than one industrial unit. Material balances for chemical reaction and combustion systems are also covered in this chapter. Chapter 4 covers energy balances for industrial equipment. The last chapter deals with energy balance for chemical reactors and combustion units, as well as the estimation of flame temperature.

We recommend providing technology-based support to help students to learn the above course. Although, there is plenty of software programs available to solve problems of material and energy balances, the student should be encouraged to perform manual calculations and enhance his/her learning through technology. We know that there is a huge amount of engineering data and information available on the Internet, so the student should be helped to extract information from the Internet and other sources in preparation for conducting research.

Please note that the writing of the text was a purely individual effort, and I apologize for any error that may be found.

Dr M.Taki Al Kamil

تقديم

يغطي الكتاب طرق الحسابات الاساسية في مجال الهندسة الكيميائية بمستوى مناسب لطالب الدراسات الاولية في الاقطار العربية. كُتب النص باللغتين العربية والانكليزبة في ذات الصفحة لمساعدة الطلبة على فهم المواضيع المهمة في هذا المجال. اعتمد المؤلف اسلوباً مبسطاً معززاً بالامثلة التوضيحية في اعداد النص. تشمل مواضيع الكتاب مقدمة عن الهندسة الكيميائية بما في ذلك التعرف على عمليات الوحدات الصناعية والرسومات المتعلقة بالوحدات الصناعية، كما تغطي المقدمة المَعلمات والمتغيرات الهندسية اضافة الى انظمة وحدات القياس. ثم يتناول الكتاب في الفصل الثاني موازنة المادة وتطبيقاتها على عمليات الوحدات الصناعية مثل التقطير والتجفيف والتبلور والامتصاص. بعد ذلك، يتطرق الكتاب في الفصل الثالث الى موازنة المادة الاكثر تقدماً لتشمل ممرات التجاوز وممرات اعادة الدوران وموازنة المادة لاكثر من وحدة صناعية، وكذلك يغطي صياغة معادلات موازنة المادة للمفاعلات الكيميائية ومفاعلات احتراق الوقود. يتناول الفصل الرابع موازنة الطاقة للمعدات الصناعية، بينما يتطرق الفصل الاخير الى موازنة الطاقة للمفاعلات الكيميائية ومفاعلات الاحراق وطريقة تقدير درجة حرارة اللهب.

نوصي بتوفير الدعم القائم على التكنولوجيا للمساعدة الطالب على فهم المنهج اعلاه. ورغم توفر العديد من البرامجيات لحل مسائل موازنات المادة والطاقة، لكن يجب تشجيع الطالب على اجراء الحسابات اليدوية مع تعزيز تعلمه من خلال التكنولوجيا. ونعلم ان هناك كميات هائلة من البيانات والمعلومات الهندسية متاحة على الإنترنت، لذا ينبغي مساعدة الطالب على استخراج المعلومات من الانترنت ومن المصادر الاخرى تمهيداً له لإجراء البحوث.

تجدر الاشارة الى ان اعداد النص كان بمجهود فردي خالص واعتذر عن اي اخطاء قد تكون موجودة فيه.

الدكتور محمد تقي الكامل

Chapter 1 — **الفصل الاول**

Introduction — المقدمة

In chapter 1, we provide a review on chemical engineering with the relevant documentation and drawings. A brief description of important unit operations is included. This is followed by elementary calculations for problems regarding basic measurements and process variables. Finally, we explain the different systems of units, perform unit-conversions and explain the concept of dimensional homogeneity. Every section of the chapter is supported by solved examples.

نستعرض في الفصل الأول مراجعة معلوماتية عن الهندسة الكيميائية والتعرف على الوثائق والرسومات ذات الصلة. وندرج ايضاً في هذا الفصل وصفاً موجزاً لعمليات الوحدات الصناعية المهمة. يلي ذلك، بعض الحسابات الأولية المتعلقة بالقياسات الاساسية ومتغيرات العمليات الصناعية. وأخيرا، نتطرق الى أنظمة الوحدات ونقوم بإجراء التحويلات من نظام الى آخر ونشرح مفهوم تجانس الابعاد. وسندعم كل ففقرة من فقرات الفصل بالامثلة المحلولة.

1.0 Learning Objectives of Chapter 1

- Introduce chemical engineering and explain the role of the Chemical Engineer
- Provide a brief description of unit operations and examine the relevant documentation and drawings
- Perform elementary calculations that involve basic measurement parameters
- Calculate process variables including flow rate, concentration, temperature and pressure
- Describe different systems of measurement units and solve examples on unit conversion
- Introduce dimensional homogeneity and dimensionless groups

1.0 اهداف دراسة الفصل الاول

- التعرف على الهندسة الكيميائية وتوضيح دور المهندس الكيميائي
- تقديم وصف موجز لعمليات الوحدات الصناعية ودراسة الوثائق والرسومات ذات الصلة
- إجراء الحسابات الأولية التي تتضمن معلمات القياس الأساسية
- حساب متغيرات العمليات الصناعية بما في ذلك معدل الجريان والتركيز ودرجة الحرارة والضغط
- وصف الأنظمة المختلفة لوحدات القياس وحل امثلة تخص تحويل الوحدات من نظام الى اخر
- التعرف على تجانس الأبعاد والمجموعات غير البعدية

1.1 Chemical Engineering

Chemical Engineering *is the engineering discipline that deals with the production of materials through industrial processes.* The principles of chemistry, physics and engineering are applied in this field for the purpose of design and operation the **industrial plants**. In addition, the processing techniques are identified, developed and improved economically through this field. In this regard, efficient operation, safety and product quality are considered as the main objectives of industrial plant design. These plants include oil and gas refining, chemicals, fertilizers, petrochemicals, energy and nuclear facilities, food processing, metal treatments and so on. Prior to the establishment of chemical engineering, the skills and knowledge of chemists, mechanical engineers and control experts were employed to deal with the operation and design of industrial units and relevant equipment. The idea of establishing the chemical engineering dates back to the nineteenth century. In fact, a reference to chemical engineering related to the production of sulphuric acid dates back to 1839. The field started to take shape in the UK and USA around 1910 and continued to develop throughout the twentieth century. The recent application of computers in plant design has simplified the calculations and development of **flow sheets**. However, manual calculations are essential for learning, even though design and economic analysis rely on commuter nowadays. It is worth mentioning that chemical engineering is different from the science of chemistry which deals with the behavior and properties of chemical materials. Chemistry is an important scientific field that coves elements and their behavior during chemical reactions. Also, it includes the laboratory analyses to identify the properties and composition of compounds. In addition, physical chemistry addresses chemical bonding, analytical dynamics and chemical equilibria etc..

1.1 الهندسة الكيميائية

الهندسة الكيميائية *هو الاختصاص الهندسي الذي يتعامل مع انتاج المواد من خلال العمليات الصناعية*. وتُطبق في هذا المجال مبادئ الكيمياء والفيزياء والعلوم الهندسية لغرض تصميم وتشغيل **المنشآت الصناعية**. بالإضافة إلى ذلك، يتم تحديد تقنيات التصنيع وتطويرها وتحسينها اقتصاديًا من خلال هذا الاختصاص. وفي هذا المجال، تُعد كفاءة التشغيل والسلامة وجودة المنتج من الاهداف الرئيسية لتصميم المنشآت الصناعية ومعداتها. تشمل هذه المنشآت مصافي تكرير النفط والغاز، ومعامل انتاج المواد الكيميائية والأسمدة والبتروكيماويات، ومنشآت الطاقة بما فيها النووية، وكذلك مصانع الأغذية، ومنشآت معالجة المعادن وما إلى ذلك. وقبل تأسيس تخصص الهندسة الكيميائية، كانت المصانع توظف مهارات الكيميائيين والمهندسين الميكانيكيين وخبراء التحكم للتعامل مع تشغيل وتصميم الوحدات الصناعية ومعداتها. وتعود فكرة تأسيس اختصاص الهندسة الكيميائية الى القرن التاسع عشر حيث أشير إلى تطبيقات الهندسة الكيميائية في إنتاج حامض الكبريتيك في العام 1839. وقد بدأ هذا المجال يتشكل ويتطور في المملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية في عام 1910، واستمر تطويره طوال القرن العشرين. وقد أدى التطبيق الحديث لأجهزة الكمبيوتر في تصميم المصانع إلى تبسيط الحسابات وتطوير **مخططات جريان الموائع** ذات الصلة. ومع ذلك، تعد الحسابات اليدوية ضرورية لغرض التعليم وادراك الجانب النظري للهندسة الكيميائية، هذا على الرغم من ان حسابات التصاميم والتحليلات الاقتصادية تعتمد هذه الايام بشكل اساسي على استخدام اجهزة الحاسبات الالكترونية. ومن الجدير بالذكر هنا أن الهندسة الكيميائية تختلف تماماً عن علم الكيمياء، فالكيمياء تتعامل مع سلوك وخصائص المواد الكيميائية. وهو مجال علمي مهم يتناول العناصر وسلوكها أثناء التفاعلات الكيميائية، كما يتضمن التحاليل المختبرية للتعرف على خواص المركبات وتركيبها. كما تغطي الكيمياء الفيزيائية الاواصر والديناميكيات التحليلية والتوازنات الكيميائية وما إلى ذلك.



1.2 The Chemical Engineer

The chemical engineer is mainly tasked with the design industrial plants and relevant equipment. Additionally, he may supervise construction and then operate the plant. A chemical engineer holds a bachelor degree in chemical engineering or **process engineering**. Practicing chemical engineer may also require professional certification from the Institution of chemical Engineers, (IChemE), or the American Institute of Chemical Engineers (AICHE), or from similar accrediting bodies.

1.2 المهندس الكيميائي

يُكلف المهندس الكيميائي بشكل أساسي بمهمة تصميم المنشآت الصناعية والمعدات ذات الصلة. بالإضافة إلى ذلك، قد يقوم بالإشراف على تشيد وتشغيل المنشآت الصناعية. ويجب ان يكون المهندس الكيميائي حاصلاً على درجة البكالوريوس في الهندسة الكيميائية أو **هندسة العمليات الصناعية**. وقد يحتاج ايضاً المهندس الكيميائي الممارس إلى شهادة مهنية من معهد المهندسين الكيميائيين (IChemE)، أو المعهد الأمريكي للمهندسين الكيميائيين (AICHE)، أو من هيئات الاعتماد المماثلة.





A chemical engineer works in oil refineries and various chemical plants, he spends most of his time in the control room to monitor the plant operation. The operation of most industrial plants is continuous without interruption, thus, chemical engineers and operators are expected to work on a rotational arrangement. Other tasks carried out by chemical engineers include, teaching and conducting research leading to the development of new process technology, or to discover new products ranging from petrochemicals to foods and cosmetics.

يعمل المهندس الكيميائي في مصافي النفط ومنشآت التصنيع المختلفة، حيث يقضي معظم وقته في غرفة السيطرة والتحكم لمتابعة تشغيل وحدات المصنع. وبالنظر الى ان تشغيل معظم المنشآت الصناعية مستمر دون انقطاع، فمن المتوقع أن يعمل المهندسون ومشغلو الوحدات الصناعية بنمط العمل التناوبي. شمل المهام الأخرى التي يقوم بها المهندسون الكيميائيون التدريس وإجراء البحوث التي تؤدي إلى تطوير تكنولوجيا العمليات الصناعية الجديدة، أو إكتشاف منتجات جديدة في العديد من المجالات بدءًا من البتروكيماويات إلى الأغذية ومستحضرات التجميل.

1.3 Industrial Chemical Processes

Industrial processes *are the conversion of raw materials into useful products*. For example refining of crude oil consists of a number of conversion processes to produce light petroleum materials such as gasoline, diesel fuel and jet fuel. The production of urea is another process that includes a reactor to synthesize the fertilizer. Food processing of agricultural crops is basically converting agricultural crops into foodstuffs; in fact, each final product is manufactured through one or more manufacturing processes.

3.1 العمليات الكيميائية الصناعية

يمكن تعريف **العمليات الصناعية** اوعمليات التصنيع *على انها عمليات تحويل صناعي للمواد الخام إلى منتجات مفيدة وقابلة للاستخدام*. فعلى سبيل المثال، يشمل تكرير النفط الخام عدة عمليات تحويل تؤدي الى انتاج مواد بترولية خفيفة مثل البنزين ووقود الديزل ووقود الطائرات. كما ان إنتاج اليوريا هو عملية صناعية أخرى تعتمد مفاعلًا كيميائياً لتصنيع الأسمدة. وان طرق تصنيع الأغذية هي اساساً عمليات تحويل المحاصيل الزراعية إلى مواد غذائية، وفي واقع الحال يُصنع كل منتوج غذائي نهائي من خلال عملية صناعية واحدة أو أكثر.

Industrial chemical processes consist of a number of **unit operations** that may involve chemical conversion or physical transformation of raw materials, or perhaps both.

تتكون العمليات الكيميائية الصناعية من عدد من **عمليات الوحدات الصناعية** التي قد تشمل تحويلاً كيميائياً أو تحويلاً فيزيائياً للمواد الخام، او ربما كليهما.

1.4 Unit Operations

1.4 عمليات الوحدات الصناعية

Industrial processes are made up of a number of **unit operations**, which are basically *physical separation techniques to purify raw materials or chemical transformation to synthesise products.* Typical **physical unit operations** are filtration, thickening, crushing of solid particles and crystallization, etc. Unit operations that involve heat and mass transfer such as distillation, extraction, absorption and drying, are called **heat & mass transfer operations**. There are also **mechanical unit operations** such as water purification by reverse osmosis, which requires applying high pressure to push the water through a membrane without salt. Pasteurization and packaging are unit operations involved in the milk processing factory. **Chemical unit operations** are accomplished through a chemical reactor; these involve chemical reactions including polymerization and oxidation etc...

تشمل عمليات التصنيع عدداً من **عمليات الوحدات الصناعية**، والتي هي في الأساس *تقنيات تعتمد الفصل الفيزيائي لتنقية المواد الخام أو التحويل الكيميائي لتصنيع المنتجات*. ويُعتبر بعضها بمثابة **عمليات تصنيع فيزيائية** بحتة مثل الترشيح، وخلط السوائل، والتثخين، وسحق الجسيمات الصلبة الخ.. بينما يشتمل البعض الآخر على انتقال الحرارة وانتقال المادة, كما يحصل في التقطير والاستخلاص والامتصاص والتجفيف والتبلور التي تسمى **عمليات انتقال الحرارة والكتلة**. هناك ايضاً **العمليات الصناعية الميكانيكية** مثل تنقية المياه بواسطة التناضح العكسي التي تتطلب تسليط ضغط عالٍ لدفع الماء عبر غشاء بدون الملح. كما ان البسترة والتعبئة والتغليف هي عمليات وحدات صناعية تخص مصانع معالجة الحليب. وهناك **العمليات الصناعية الكيميائية** التي تُنجز من خلال المفاعلات الكيميائية، وفيها قد تشمل التفاعلات الكيميائية البلمرة والاكسدة الخ..

Let us now provide a brief description to identify some important industrial unit operations; detailed description is available in relevant textbooks

دعونا الآن نقدم وصفا موجزا للتعرف على بعض عمليات الوحدات الصناعية الهامة، علماً ان الكتب المنهجية ذات الصلة تتناول هذا الموضوع بالتفصيل.

1.4.1 Heat and Mass Transfer Operations

1.4.1 عمليات انتقال الحرارة والكتلة

a- Distillation

أ- التقطير

Distillation is considered as one of the most popular unit operations, particularly in refineries liquefied gas plants. Distillation *is a method of separating the components of a liquid mixture based on the* ***volatility*** *of the components*. When a mixture of two liquids is heated, the lighter liquid with the lower boiling point evaporates and the condensation of the rising vapor separates the two liquids.

يُعد **التقطير** من اهم عمليات الوحدات الصناعية الشائعة، خاصة في مصافي النفط ومعامل صناعة الغاز البترولي المسال وتصنيع البتروكيمياويات. والتقطير هو *عبارة عن طريقة لفصل مكونات خليط من السائل استناداً الى ظاهرة* ***تقلب السائل*** او قابليته على التطاير. فعندما يُسخن خليط مكون من سائلين، يتبخر السائل ذو درجة الغليان الاقل اي المكون الاخف، ثم يؤدي تكثيف البخار المتصاعد الى انفصال السائلين.

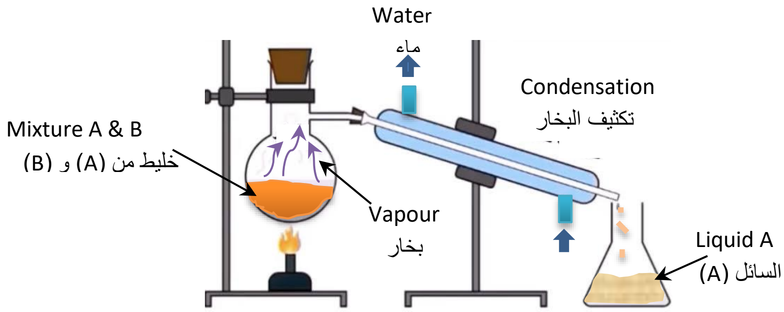


Figure 1.1 Simple distillation apparatus used in the lab

الشكل 1.1 جهاز التقطير البسيط المستخدم فى المختبرات

The separation of ethyl alcohol from water is a familiar example of **binary distillation**

Multicomponent distillation involves the separation of a mixture containing more than two components. A good example is the distillation of crude oil in a refinery to produce lighter petroleum cuts.

يُعد فصل الكحول الإثيلي عن الماء مثالاً مألوفاً على **التقطير ثنائي المكونات**.

اما التقطير متعدد المكونات فهو فصل مكونات مزيج من السائل يحتوي على اكثر من مكونيين اثنين, وخير مثال على ذلك تقطير النفط الخام في مصفاة النفط للحصول على مواد بترولية خفيفة.

b- Extraction

Liquid-Liquid **extraction** *is a method to separate one of the components of a liquid mixture, or a solution, based on* ***relative solubility***. The process involves contact of the mixture with another liquid-solvent which is immiscible with the solution. The desired material dissolves in the solvent and the binary mixture is separated from the solution by gravity. Distillation or evaporation may follow to purify the desired material. Thus, mass transfer followed by heat transfer required to achieve Liquid-Liquid extraction. Typical examples of liquid extraction are the extraction of perfumes by hexane, and the removal of aromatics from lube oil by phenol.

ب- الاستخلاص

استخلاص سائل من خليط سائل هي *طريقة لفصل احد مكونات مزيج من المواد السائلة, او من المحلول, على اساس* ***قابلية الذوبان النسبية***. وتتم العملية نتيجة ملامسة المحلول لسائل آخر يعمل كمذيب غير قابل للامتزاج مع المحلول. تذوب المادة المراد فصلها في المذيب ثم يتم تعريض الخليط الثنائي الى فعل الجاذبية لفصل المادة من المحلول. وقد يتبع ذلك عملية تقطير أو عملية تبخير لتنقية المادة المطلوبة. وعليه، فإن تحقيق استخلاص سائل من محلول سائل يتطلب انتقال الكتلة متبوعاً بانتقال الحرارة. يُعد استخلاص العطور بواسطة الهكسان، وإزالة العطريات من زيت التشحيم بواسطة الفينول، أمثلة نموذجية لاستخلاص السائل.

c- Absorption

Gas **absorption** is *the absorption of one or more components of a gaseous mixture by a liquid*, and hence separating the gas from the mixture.

ج- الامتصاص

امتصاص الغازات هو *امتصاص مكون أو أكثر من مكونات الخليط الغازي بواسطة سائل معين*، ونتيجة لذلك يتم تفصل الغاز من الخليط.

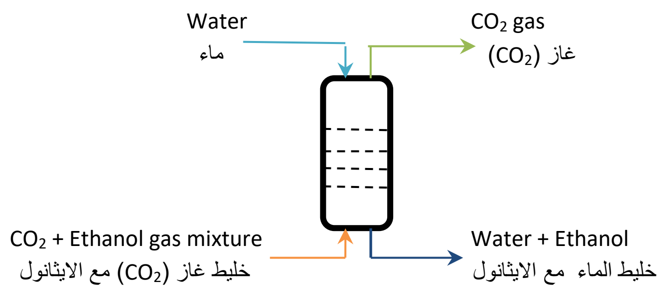


Figure 1.2 Absorption of Ethanol by water
الشكل 1.2 إمتصاص الايثانول بواسطة الماء

Absorption is therefore an operation where mass transfer takes place between a liquid and a gas.

ويمكننا ان نستنتج ان الامتصاص هو عملية انتقال الكتلة بين السائل والغاز.

d- Drying

د- التجفيف

Industrial **drying** is *the separation of liquid from solid by heating*. It is often the last step of industrial processing that may includes filtration, crystallization, or evaporation. It involves heat and mass transfer and is popular in the food industry.

التجفيف الصناعي هو *عملية فصل السائل عن المادة الصلبة بواسطة التسخين*، وغالبا ما يكون التجفيف العملية الأخيرة في المعالجات الصناعية التي قد تشمل الترشيح أو التبلور أو التبخير. يتضمن التجفيف انتقال الحرارة وانتقال الكتلة, ويستخدم كثيراً في صناعة المواد الغذائية.

e- Crystallization

هـ- التبلور

It is a mass transfer process where *solid is separated from liquid by migration of the solute from the solution to a solid crystalline phase*. **Crystallisation** may occur due to cooling, evaporation or chemical change such as acidity of the solution. Sugar, table salt, butter, chocolate, copper sulphate are some of the products made by crystallization.

إنها عملية من عمليات انتقال المادة (او انتقال الكتلة)، حيث *تُفصل المادة الصلبة عن السائل عن طريق انتقال المذاب من المحلول إلى الطور البلوري الصلب*.
وقد يحدث **التبلور** بسبب التبريد أو نتيجة التبخر أو بسبب التغير الكيميائي مثل تغير حموضة المحلول. يُعد السكر وملح الطعام والزبدة والشوكولاتة وكبريتات النحاس من بعض المنتجات التي تصنع عن طريق التبلور.

f- Evaporation

و- التبخير

Evaporation *is the process of converting liquid to vapour*, which results in an increases of the concentration of the solute in a mixture. Removing water from a dilute solution or from a liquid food to obtain the desired product is common in food processing. Heating is normally required to boil off water from the mixture to achieve the required concentration of product.

التبخير هو *عملية تحويل السائل الى بخار*، مما يؤدي إلى زيادة تركيز المادة المذابة في خليط المواد. وتُعد عملية إزالة الماء من محلول مخفف أو من الاطعمة السائلة للحصول على المنتج المطلوب أمر شائع في تصنيع بعض الأغذية. وعادةً ما تتطلب هذه العملية تسخين الخليط وتبخير الماء منه لتحقيق التركيز المطلوب للمُنتج.

Examples of this process include the concentration of fruit juices, sodium hydroxide production and removal of solvents from oil. Evaporation is therefore a heat transfer-unit operation that separates liquids from solid materials.

تشمل الامثلة لهذه العملية الصناعية تركيز عصائر الفاكهة، وإنتاج هيدروكسيد الصوديوم، وإزالة المذيبات من المنتجات النفطية. نستنتج مما ذكر أن عملية التبخير هي احدى عمليات الوحدات الصناعية التي تعتمد انتقال الحرارة لفصل السائل عن المادة الصلبة.

g- Leaching

ز- استخلاص المواد الصلبة

Leaching *is an operation that involves mass transfer to extract a substance from a solid material by an aqueous solution.* Leaching of gold or silver by a dilute solution of sodium cyanide is a good example of the process. Also leaching sugar from sugar beets by hot water is another example.

استخلاص المواد الصلبة هي *عملية تعتمد انتقال الكتلة لاستخراج احد مكونات المادة الصلبة بواسطة محلول معين*. يُعد استخلاص الذهب أو الفضة بواسطة محلول مخفف من سيانيد الصوديوم مثالًا جيدًا لهذه العملية. ومثال آخر هو استخلاص السكر من بنجر السكر بواسطة الماء الساخن.

1.4.2 Physical & Mechanical Operations

1.4.2 العمليات الصناعية الفيزيائية والميكانيكية

a- Adsorption

أ- الامتزاز

Adsorption *is the removal of some components of a gas mixture by an adsorbing-solid material that attract the desired gas component*. One of the common adsorption processes is the use of activated carbon to remove odors from air. Industrial adsorption is a phenomenon related to solid materials that have the ability to attract molecules of some gases to adhere to their surfaces. The method is used in the oil and gas industry to remove impurities from gasoline and diesel.

الامتزاز هو *إزالة بعض المكونات من خليط الغازات عن طريق مادة صلبة ممتزة تجذب الغاز المراد فصله*. ويُعد استخدام الكربون المنشط لإزالة بعض الغازات من الهواء احدى عمليات الامتزاز الشائعة. ان عملية الامتزاز الصناعية هي ظاهرة تخص المواد الصلبة التي لها القدرة على استقطاب جزيئات بعض الغازات للالتصاق باسطحها، وتُستخدم هذه الطريقة في صناعة النفط والغاز لإزالة الشوائب من البنزين والديزل.

b- Filtration

ب- الترشيح

Industrial **filtration** is *the separation of solid particles from a mixture of solid and liquid, or from a mixture of solid particles and gases*. The processs is accomplished by forcing the **fluid** to pass through the **filtration medium** without the solids. Either the filtered fluid or the accumulated solid particles may be the desired product in the filtration process. The rotary drum filter is used in industry for the continuous treatment of **slurries**. The filter works by continuously discharging air

الترشيح الصناعي *هو فصل الجسيمات الصلبة من خليط مكون من الصلب والسائل، أو من خليط الدقائق الصلبة مع الغازات*. تُنجزالعملية الصناعية عن طريق دفع **المائع** (سواء اكان سائلاً او غازاً) للمرور عبر **وسط الترشيح** دون المواد الصلبة. وقد يكون المنتج المستهدف في عملية الترشيح المائع المصفى او المادة الصلبة المتراكمة. يستخدم جهاز الفلترالاسطواني الدوار للترشيح المستمر لمعالجة كميات كبيرة من مزيج السائل والصلب او **الملاط** في المجالات الصناعية. ويستند عمل هذا الفلتر الى تفريغ الهواء المستمر من

From the perforated drum, which is covered by the filter cloth. **Vacuum** is created inside the drum, and liquid is withdrawn leaving the solid particles to build up on the outside surface of the cloth. The accumulated solid particles or **filter cake** is continuously scraped off, and the liquid flows to the next processing stage. Continuous filtration is used in the mining industry, pharmaceutical industry as well as in water treatment plants.

الاسطوانة المثقبة المغطاة بقطعة قماش الفلترة. يتولد **الفراغ** داخل الاسطوانة مما يؤدي الى سحب السائل الى داخلها وتراكم الدقائق الصلبة على السطح الخارجي للقماش. ويتم كشط طبقة دقائق الترشح الصلبة المتراكمة او **كعكة الترشيح** بشكل مستمر، بينما يتدفق السائل المترشح إلى مرحلة المعالجة الصناعية التالية. يستخدم الترشيح المستمر في صناعات التعدين وصناعة الأدوية وكذلك في منشآت معالجة المياه.

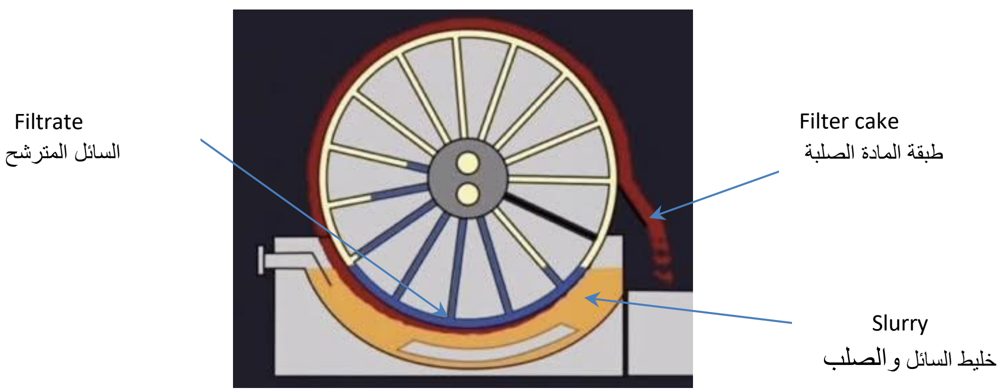


Figure 1.3 Rotary filter drum

الشكل 1.3 الفلتر الاسطواني الدوار

https://pharmacyscope.com/rotary-drum-filter/

c- Settling & Thickening

ج- ألترسيب والتثخين

Settling *is the separation of solids from mixtures by gravity. It is a simple form of* ***thickening****.* Thickening *is increasing the concentration of solids in* ***slurries***. Settling tanks are typically used to separate dense slurries from mixtures by gravity. The solid particles settle at the bottom forming an impacted or thickened layer of slurry. Examples are the settling of quartz particles in water and the thickening of metallurgical

الترسيب هو *فصل المواد الصلبة عن المخاليط بفعل الجاذبية. إنه شكل مبسط من عملية* ***التثخين***، حيث ان التثخين *هو عبارة عن زيادة تركيز المواد الصلبة في المخاليط طينية القوام او* ***الملاط***. تُستخدم خزانات الترسيب عادة لفصل المواد المترسبة الكثيفة عن المخاليط بواسطة الجاذبية، حيث تستقر الجزيئات الصلبة في القاع لتشكل طبقة مُثخنة أو سميكة من المواد المترسبة. ومن الأمثلة على ذلك ترسيب جزيئات الكوارتز في الماء وتثخين المواد المعدنية قبل عملية الترشيح.

d- Crushing & Grinding

Metal ores are usually obtained from mines as lumps of solid material of different sizes. To process the raw material, size reduction is required. Large industrial mechanical crushers are used for to apply impact and compression to crush the solid feed. After **crushing**, the material may then be subjected to a sieving process to classify the material according to particle size.

Grinding is another size reduction operation accomplished by abrasion and impact of the ore using hard balls or pebbles. The small pieces are usually reduced to a powder prior to further processing.

د- التكسير والجرش

عادة ما يتم الحصول على الخامات المعدنية من المناجم على شكل كتل من المواد الصلبة ذات أحجام مختلفة. ولمعالجة وتصنيع المواد الخام، ينبغي تصغير حجم الصخور المعدنية. وتُستخدم لهذا الغرض الكسارات الميكانيكية الصناعية الكبيرة لتسليط قوة الارتطام والضغط لتكسير المواد الصلبة كبيرة الحجم. وبعد **التكسير**، يمكن إخضاع المادة الى عملية غربلة لتصنيف الجسيمات حسب حجم الجسيمات.

الجرش هو عملية أخرى لتصغير حجم الجسيمات الصلبة عن طريق الحك وتأثير ضغط الارتطام باستخدام كرات صلبة أو جسيمات الحصى. وعادة ما يتم تحويل القطع الصغيرة إلى مسحوق قبل إجراء المعالجات الصناعية اللاحقة.

e- Reverse Osmosis

*It is the separation of solid particles from water. A **semipermeable membrane** is used to filter out the salt and other harmful particles from water.* **Reverse osmosis** is a popular method to produce drinking water from sea water. A high pumping pressure is required to push the water through the semipermeable membrane. Thus, it is considered as a mechanical unit operation.

هـ- التناضح العكسي

*انه فصل الجزيئات الصلبة عن الماء,حيث يُستخدم **غشاء شبه منفذ** (يسمح بمرور الماء دون الصلب) لعزل لملح والجزيئات الضارة الأخرى من الماء.* **التناضح العكسي** هو طريقة شائعة لإنتاج مياه الشرب من مياه البحر. وتتطلب العملية ضغطاًعالياً لضخ ودفع الماء عبر الغشاء شبه المنفذ، ولذلك تُعد عملية التناضح العكسي عملية من عمليات الوحدات الميكانيكية.

f- Liquid Mixing

Liquid Mixing *is combining liquids in order to obtain good contact between the immiscible liquids to enhance mass transfer or to initiate a chemical reaction*. Slurries are also prepared by mixing liquid and solid materials.

و- خلط السوائل

خلط السوائل هي عملية *دمج سائلين أو أكثر من أجل الحصول على التماس الجيد بين السوائل غير قابلة للامتزاج لتعزيز عملية انتقال الكتلة او لغرض بدء التفاعل الكيميائي*.يتم ايضاً تحضير المخاليط الصناعية طينية القوام اوالملاط عن طريق خلط المواد السائلة والصلبة.

1.5 Industrial Process Diagrams

We will discuss three types of process diagrams used by chemical engineers to identify the plant units and follow the flow of the process fluids. **Flow charts** will be explained later on.

1.5 مخططات العمليات الصناعية

سنتطرق هنا الى ثلاثة أنواع من مخططات العمليات الصناعية التي يستخدمها المهندسون الكيميائيون للتعرف على وحدات المصنع وتتبع جريان الموائع فيها. وسنوضح **مخططات البيانت الانسيابية** لاحقاً.

1.5.1 Block Process Diagrams

Block process diagrams (BPD) are made up of simple blocks to show the plant major units, as shown in Fig 1.4.

1.5.1 مخططات مراحل التصنيع

تتألف **مخططات مراحل التصنيع** (BPD) من مربعات او مستطيلات توضح اسماء الوحدات الرئيسية في المصنع، كما هو مبين في الشكل (1.4).

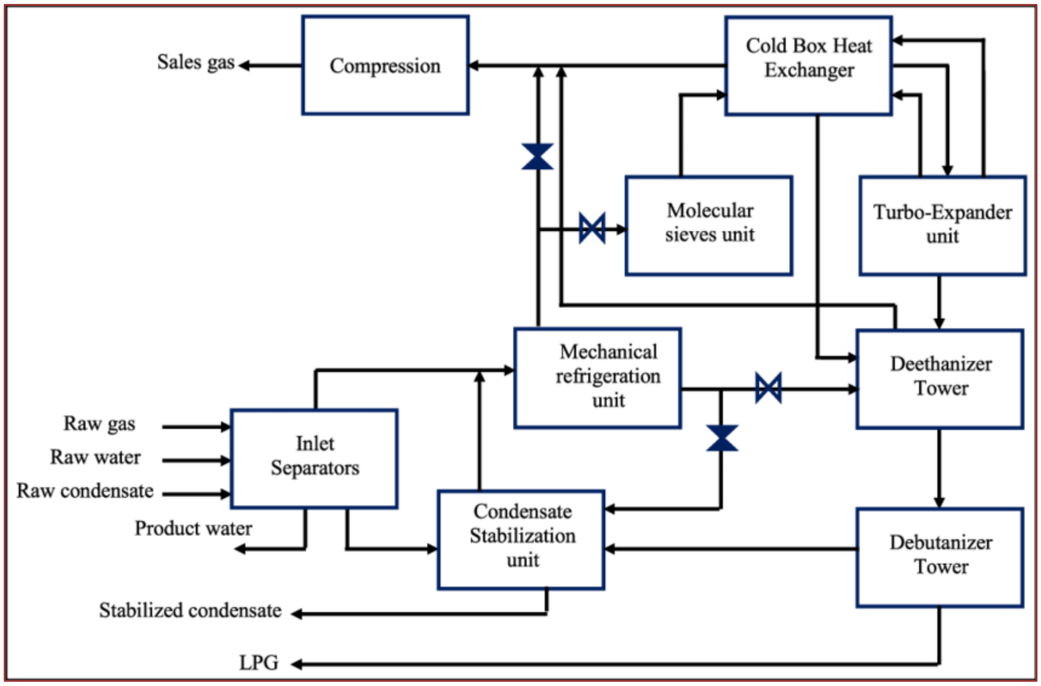


Figure 1.4 Block diagram for production of LPG.

الشكل 1.4 مخطط مراحل التصنيع للغاز المسال (LPG)

1.5.2 Process Flow diagrams

A process flow diagram (PFD) show the equipment of the plant joined together to illustrate the processing sequence of the material, see Fig 1.5.

1.5.2 مخططات انسياب العمليات الصناعية

يُظهر مخطط انسياب العمليات الصناعية (PFD) معدات المصنع مجتمعة معاً لتبيان تسلسل عمليات تصنيع المادة، انظر الشكل (1.5).

1.5.3 Piping and Instrumentation Diagrams

These diagrams are referred to as P&I drawings, the diagram shows all the instruments and connecting pipes to each one of the plant equipment. For example the instruments around a separation drum shown in Fig 1.6.

1.5.3 مخططات الانابيب والآلات الدقيقة

يشار إلى هذه المخططات بالرمز (P&I)، ويوضح الرسم التخطيطي جميع الآلات الدقيقة وأنابيب التوصيل لكل واحدة من معدات المصنع. فعلى سبيل المثال، الآلات الموجودة حول وعاء الفصل الاسطواني الموضحة في الشكل (1.6).

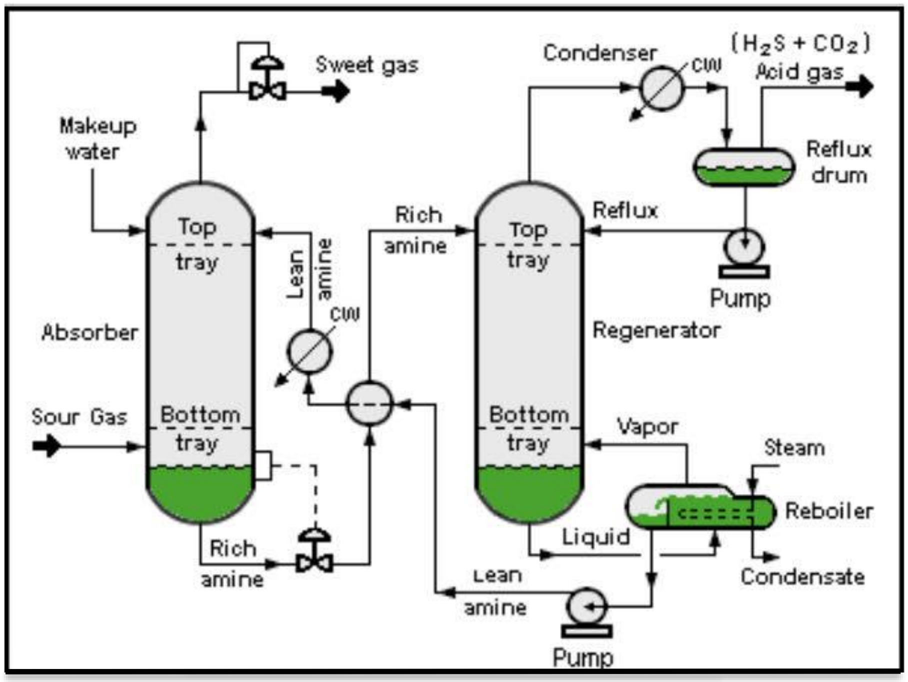


Figure 1.5 PFD for the absorption of acid gases from a petroleum gas

الشكل 1.5 امتصاص الغازات الحامضية من الغاز النفطي

Published on Wikipedia

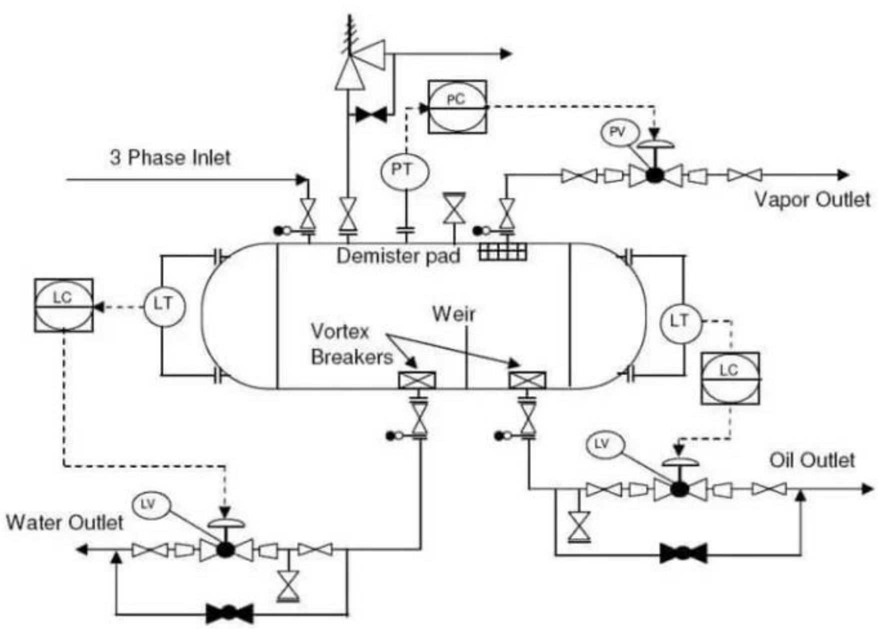


Figure 1.6 P&I diagram for a separation drum **الشكل 1.6** مخطط (P&I) لوعاء الفصل الاسطواني

1.6 Basic Measurement Parameters

The basic measurements quantities that determine the physical system behavior are mass, length, time and temperature. The units of these quantities depend on what system of units is used, for example in the International system (SI), the units are kilogram (kg), meter (m), second (s), and degree Celsius (^oC) or Kelvin (K) respectively. Different systems of units are employed in engineering, and will be discussed later. Based on these basic quantities, **derived engineering parameters** are developed including weight, volume and density etc.

1.6 المَعلمات الاساسية للقياس

تُعد الكتلة والطول والوقت ودرجة الحرارة كميات القياس الأساسية التي تحدد سلوك المنظومة الفيزيائية. وتعتمد وحدات هذه الكميات على نظام الوحدات المستخدم، فمثلا في النظام الدولي (SI) الوحدات هي الكيلوغرام (kg) و المتر (m) والثانية (s) ودرجة الحرارة المئوية (^oC) أو الكلفن (K) على التوالي. وتُستخدم أنظمة مختلفة للوحدات في المجالات الهندسة سنناقشها لاحقًا. وبناءً على هذه الكميات الأساسية، يتم تطوير **مَعلمات هندسية مشتقة** بما في ذلك الوزن والحجم والكثافة وما إلى ذلك.

1.6.1 Mass & Weight

Mass (m) is *the quantity of matter measured in kg.* **Weight** (Wt) is the force exerted by a mass of a substance due to gravitational attraction of the earth. The unit of weight in SI is Newton (N).

1.6.1 الكتلة والوزن

الكتلة رمزها (m) وهي *كمية المادة المقاسة بالكيلوغرام* (kg). **الوزن** (Wt) هو القوة التي تؤثر بها كتلة المادة نتيجة لجاذبية الأرض. وحدة قياس الوزن في النظام الدولي للوحدات هي النيوتن (N).

$$Wt = m.g \qquad (1.1)$$

g is the **gravitational acceleration** = 9.81m/s

يمثل (g) **التعجيل الجاذبي** = (9.81m/s)

1.6.2 The Mole

The **mole** is an important standard unit for measuring quantities at the atomic and molecular level. In the fields of chemistry and chemical engineering, *one mole of a substance is equal to the Avogadro number which is 6.022 x 10^{23} molecules, atoms or ions*. The mole may be considered as a basic physical quantity. The number of mole has the units (kmol) in SI, and gramme-mole (gmol) in c.g.s system. It is based on mass m and molecular weight MW of the substance. The number of moles (n) is expressed as

1.6.2 المول

تُعد **المول** وحدة مهمة لقياس الكميات على المستوى الذري والجزيئي. وفي مجالي الكيمياء والهندسة الكيميائية، *المول الواحد من المادة يساوي رقم أفوكادرو، اي (6.022 x 10^{23}) جزيئة أو ذرة أو أيون*. ويمكن اعتبار المول كمية فيزيائية أساسية، حيث يتخذ عدد المولات وحدات الكيلومول (kmol) في النظام الدولي للوحدات او الغرام-مول (gmol) في نظام (c.g.s). يعتمد عدد المولات (n) على الكتلة (m) والوزن الجزيئي للمادة (MW) ويُكتب بالصيغة التالية

$$n = \frac{\text{Mass}}{\text{Molecular weight}} = \frac{m}{MW} \qquad (1.2)$$

1.6.3 Density and Specific Gravity

Density (ρ) is defined as *the mass of a substance per unit volume*. The unit of density in the SI system is kg/m^3. The solid materials have very high values of density, followed by liquids and then gases. For example the density of Lead is 11340 kg/m^3, density of steel is 7750-8000 kg/m^3, density of aluminum is 2710 kg/m^3, Density of water is 10^3 kg/m^3 and the density of air is 1.293 kg/m^3.

Specific gravity or **relative density** (SG) *is the ratio of the density of the substance ρ to the density of water ρ_w.*

1.6.3 الكثافة والثقل النوعي

يمكن تعريف **الكثافة** (ρ) *علـى أنها كتلة المادة لكل وحدة حجم*. وتتخذ الكثافة وحدة القياس (kg/m^3) في النظام الدولي للوحدات (SI). تمتاز المواد الصلبة بكثافة عالية جداً، تليها المواد السائلة ثم الغازات. فعلى سبيل المثال، تبلغ كثافة الرصاص (11340 kg/m^3)، وكثافة الحديد الصلب او الفولاذ (7750-8000 kg/m^3)، وكثافة الألومنيوم (2710 kg/m^3)، وكثافة الماء (10^3 kg/m^3) وكثافة الهواء (1.293 kg/m^3).

الثقل النوعي (SG) الذي يسمى ايضاً **الوزن النوعي** أو **الكثافة النسبية** هو *نسبة كثافة المادة (ρ) إلى كثافة الماء (ρ_w).*

$$SG = \frac{\rho}{\rho_w} \qquad (1.3)$$

Example 1.1

The specific gravity of crude oil is 0.901.

(a) What is the density of the oil?

(b) Crude oil is a mixture of hydrocarbons; it is molecular weight is around 1500. If the volume of a barrel of crude oil is 158.987 litres, estimate the weight and number of moles for the oil that fill the barrel.

المثال 1.1

اذا كان الثقل النوعي للنفط الخام يساوي 0.901.

(أ) ما هي كثافة النفط؟

(ب) المعلوم ان النفط الخام عبارة عن خليط من الهيدروكربونات؛ ويبلغ وزنه الجزيئي حوالي 1500. فاذا كان حجم برميل النفط الخام يساوي158.987 لتر، احسب وزن وعدد مولات النفط التي تملأ البرميل.

Solution

الحل

(a) The density of the oil is calculated by equation 1.3,

(أ) نحسب الكثافة باستخدام المعادلة (1.3)،

$$SG = \frac{\rho}{\rho_w} \qquad \text{(Eqn. 1.3)}$$

$$0.901 = \frac{\rho}{1000}$$

$$\rho_{crude} = \underline{901\ kg/m^3}$$

(b) The mass of the crude in the barrel is first calculated,

(ب) نحسب اولاً كتلة النفط الخام في البرميل,

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Mass = Volume x Density,

$m_{crude} = V_{crude} \cdot \rho_{crude}$,

Volume = 158.987 litres = 158.987/1000 = 0.158987 m^3

m_{crude} = 0.158987 x 901 = 143.247 kg

The weight of the oil is determined from equation 1.1,

ثم نقدر قيمة وزن النفط من المعادلة (1.1)،

$$Wt = m.g \qquad \text{(Eqn. 1.1)}$$

The gravitational acceleration g = 9.81 m/s

Wt = 143.2472 x 9.81 = 1405.255 N = <u>1.40525 kN</u>

The number of moles is estimated by equation 1.2,

نحسب عدد المولات باستخدام المعادلة (1.2)،

$$n = \frac{\text{Mass}}{\text{Molecular weight}} = \frac{m}{MW} \qquad \text{(Eqn. 1.2)}$$

$$n_{crude} = \frac{143.247}{1500} = \underline{0.0955 \text{ moles (or kmols)}}$$

Exercise

تمرين

Repeat the solution of the example for crude with specific gravity SG = 0.885.

كرر حل المثال متخذاً الثقل النوعي للنفط الخام (SG = 0.885).

1.7 Industrial Process Calculations

Process calculations cover the analysis of various unit operations, **material balance** for the process plant, **energy or heat balance** and calculations across the chemical reactor. Material and energy balances, including reactors, will be covered in the course of the next chapters. The detailed plant-design calculations are actually based on these, but they are long and complex and require computer techniques to develop **flow charts**. However, it is worth going through the process variables, units and unit conversion before proceeding to the next chapter.

1.7 الحسابات في العمليات الصناعية

تشمل حسابات العمليات الصناعية كل من تحليلات عمليات الوحدات الصناعية المختلفة و **موازنة المادة** للمصنع و **موازنة الطاقة** أو **الموازنة الحرارية** وكذلك الحسابات التي تخص المفاعلات الكيميائية. وسوف نتناول موضوعات موازنات المادة والطاقة بما فيها المفاعلات الكيميائية في سياق الفصول القادمة. تعتمد الحسابات التفصيلية لتصميم المصنع في الواقع على هذه الحسابات، ولكنها طويلة ومعقدة وتتطلب تقنيات الحاسوب لاستنباط **مخططات البيانات الانسيابية** ومع ذلك، فمن المفيد الاطلاع على متغيرات العمليات الصناعية والوحدات وتحويل الوحدات قبل الانتقال إلى الفصل القادم.

1.8 Process variables

Process variables are *parameters monitored and controlled in every part of the industrial process.* Process control is required in the operation of a chemical plant to ensure an output level is achieved safely and economically. Instruments, control valves and controllers make up the bulk of the process control system. The important control parameters are: flow rate, level, temperature, pressure and molar or mass **composition**. Let us now define and discuss these variables.

1.8 متغيرات العمليات الصناعية

متغيرات العمليات الصناعية هي *مَعلمات يتم مراقبتها والتحكم فيها في كل جزء من عملية التصنيع.* ويُعد التحكم في العمليات الصناعية أمراً ضرورياً في تشغيل مصانع المواد الكيميائية وغيرها لضمان تحقيق مستوى الإنتاج بشكل آمن وبالنهج الاقتصادي المطلوب. تشكل الآلات الدقيقة وصمامات التحكم وأجهزة التحكم الجزء الأكبر من نظام السيطرة والتحكم في المصانع. وان اهم مَعلمات التحكم الهامة هي معدل الجريان وارتفاع مستوى السائل في الاوعية ودرجة الحرارة والضغط و **تركيب المادة** الوزني او المولي. دعونا الآن نتعرف على هذه المتغيرات ونناقشها.

1.8.1 Flow Rate

Flow rate is *the quantity of fluid passing in a pipeline or a conduit per unit time*. The units of flow rate depend on whether the quantity is volume or mass.

Volumetric flow rate denoted as $\dot{V}$ is measured in cubic meters per second (m^3/s) or cubic foot per second (ft^3/s). It can be measured by flow meters including rotameters, Venturi meters and **orifice plates**. Details of measurement techniques can be sited in fluid mechanics textbooks. See Fig 1.7.

1.8.1 معدل الجريان

معدل الجريان (او التدفق) هو *كمية السائل التي تجتاز الانبوب أو قناة الجريان لكل وحدة زمنية*. تعتمد وحدات معدل الجريان على ما إذا كانت الكمية مقاسة بالحجم أو بالكتلة

يتخذ **معدل الجريان الحجمي** المشار إليه بالرمز($\dot{V}$) وحدات المتر المكعب في الثانية (m^3/s)، أو القدم المكعب في الثانية (ft^3/s). ويمكن قياس معدل الجريان بواسطة أجهزة قياس الجريان بما في ذلك المقياس الدوار ومقياس فنتشوري ومقياس **الصفيحة المثقوبة**. وننصح القارىء بالرجوع الى تفاصيل تقنيات القياس في الكتب االمتخصصة بعلم ميكانيك الموائع. أنظر الشكل (1.7)

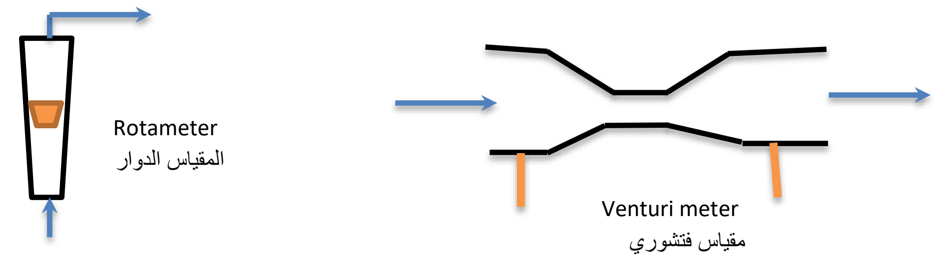


Figure 1.7 flow measurement **الشكل 1.7** مقايس الجريان

Mass flow rate with the symbol $\dot{m}$, has the units of kilogram per second (kg/s) or pounds-mass per second (lbm/s).

يُرمز الى **معدل الجريان الكتلي** ($\dot{m}$) ووحداته هي الكيلوغرم في الثانية (kg/s) او الباوند الكتلي في الثانية (lbm/s).

Mass flow rate = Volumetric flow rate x Density

معدل الجريان الكتلي = معدل الجريان الحجمي x الكثافة

$$\dot{m} = \dot{V} \times \rho \qquad (1.4)$$

ρ is the density of the fluid in(kg/m^3).

يمثل الرمز (ρ) كثافة المائع بالوحدات (kg/m^3).

Velocity u is related to volumetric flow rate as follows

وترتبط السرعة (u) بمعدل الجريان كما هو آت

$$\dot{V} = u \times A \qquad (1.5)$$

u = velocity in (m/s), and A is the cross section area of the pipe in (m^2).
A = π (d^2/4), d is the diameter of the pipe in m.

(u) = سرعة جريان المائع بوحدات (m/s).

(A) = مساحة المقطع العرضي للانبوب بالوحدات (m^2)

Example 1.2

المثال 1.2

The velocity of water in a 10 cm diameter pipe is 0.12 m/s, determine the mass flow rate of water. Density is 10^3 kg/m^3.

اذا علمت ان سرعة جريان الماء في انبوب قطره (10 cm) تساوي (0.12 m/s)، احسب معدل الجريان الكتلي. مقدار كثافة الماء (10^3 kg/m^3).

Solution

الحل

$$\dot{m} = Q \times \rho \qquad \text{(Eqn. 1.4)}$$

$$\dot{V} = u \times A \qquad \text{(Eqn. 1.5)}$$

$$\dot{m} = u \times A \times \rho$$

$$A = \pi d^2/4 = \pi \times [(10 \times 10^{-2})^2]/4 = 0.00785 \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = u \times A \times \rho = 0.12 \times \times 0.0785 \times 10^3 = 0.9424 \text{ kg/s}$$

Exercise

The mass flow rate of crude oil in a 20 cm pipeline is 11.6 kg/s. Estimate the velocity in the pipe. Specific gravity of crude = 0.9

Specific gravity (SG) is determined by equation 1.3.

تمرين

اذا كان معدل الجريان الكتلي للنفط الخام الجاري في خط أنابيب قطره (20 cm) يساوي (11.6 kg/s)، قدر قيمة السرعة في الأنبوب. الثقل النوعي للنفط الخام = 0.9.

يُحسب الثقل النوعي (SG) بواسطة المعادلة (1.3).

1.8.2 Composition

1.8.2 تركيب المادة

For a mixture of two or more non-reacting fluids, **composition** is defined as *the ratio of the amount of each component the total amount of mixture.* Composition can be based on mass fractions x or mole fractions y. For a mixture of three components a, b and c, the **mass fraction** of component a is denoted x_a and given by,

عندما يُخلط مائعين أو أكثر من الموائع غير المتفاعلة، فيمكن تعريف **تركيب المادة** في هذه الحالة على *انه نسبة كمية كل مكون الى الكمية الاجمالية للخليط.* ويمكن أن يعتمد التركيب على الكسور الكتلية (x) أو على الكسور المولية (y). فبالنسبة لخليط من ثلاثة مكونات (a) و (b) و(c)، يُشار إلى **الكسر الكتلي** للمكون (a) (x_a) والذي يُعطى من،

$$x_a = \frac{\text{mass of component a}}{\text{total mass of the mixture}} \qquad \frac{\text{كتلة المكون (a)}}{\text{كتلة الخليط}}$$

$$x_a = \frac{m_a}{m_a + m_b + m_c} = \frac{m_i}{\sum m_i} \qquad (1.6)$$

The sum of the fractions is obviously equal to 1, ($\sum x_i = 1$)

m_i is the mass of a component in the mixture in kg.

Similarly, the **mole fraction** is defined as

ومن البديهي ان يكون مجموع الكسور مساوياً الواحد، ($\sum x_i = 1$)

يمثل الرمز (m_i) كتلة المكون بوحدات الكيلوغرام (kg) في الخليط.

وبالمثل، يمكن تعريف **الكسر المولي** على أنه

$$y_a = \frac{\text{No of moles of component}}{\text{total number of moles of mixture}} \qquad \frac{\text{عدد مولات المكون (a)}}{\text{عدد مولات الخليط}}$$

$$y_a = \frac{n_a}{n_a + n_b + n_c} = \frac{n_i}{\sum n_i} \qquad (1.7)$$

$$n_i = \frac{\text{mass of component}}{\text{Molecular weight of component i}} \qquad \frac{\text{كتلة المكون (i)}}{\text{الوزن الجزيئي للمكون (i)}}$$

$$n_i = \frac{m_i}{M_i} \quad , \quad m_i = M_i \times n_i \qquad (1.8)$$

n_i = number of moles of a component I in the mixture.

n_i = عدد مولات احد المكونات (i) في الخليط.

The composition for a mixture of gases or liquids is measured by conducting mass analysis, which is also known as **gravimetric analysis**. Analysis can be carried out on a **stream** of mixed fluids as well.

يُحدد تركيب خليط الغازات أو السوائل عن طريق إجراء التحليل الكتلي، والذي يعرف أيضًا باسم **التحليل الوزني**. ويمكن إجراء هذا التحليل على خليط من الموائع الجارية أيضًا (اي على **مجرى** لخليط من الموائع).

Note that composition may also be defined as a percentage instead of mass or mole fraction. For example, a mixture of A and B with $y_{am} = 0.45$ and $y_B = 0.55$ consists of 45% A and 55% B.

لاحظ أنه يمكننا أيضًا تعريف التركيب كنسب مئوية بدلاً من الكسور الكتلية او الكسور المولية. فعلى سبيل المثال، خليط من (A و B) له الكسور المولية ($y_A = 0.45$) و ($y_B = 0.55$)، يتكون من النسب المؤية 45% للمكون A و 55% للمكون B.

The **average molecular weight** for a mixture $\overline{MW}$ is define as

يُعَرَف **متوسط الوزن الجزيئي** للخليط ($\overline{MW}$) كما يلي

$$\overline{M} = y_A M_A + y_B M_B + y_C M_C + ... \qquad (1.8A)$$

Example 1.3

المثال 1.3

(a) Convert 10 kg of water to moles, and (b) convert 1.2 moles of oxygen to mass. (c) If every 2 kg of sea water contains 0.063 kg of salt, what will be the mass fraction and percentage of salt and water in the sea water?

(أ) حول 10 كغم من الماء إلى مولات، وحول 1.2 مول من الأكسجين إلى ما يعادلها من الكتلة. (ب) ما هي الكسور الكتلية والنسب المؤية للملح وللماء في مياه البحر إذا كان كل 2 كغم من الماء يحتوي 0.063 كغم من الملح؟

Solution

الحل

(a) Number of moles = Mass / Molecular weight

$n = m/M$

$n_{water} = 10/18 =$ <u>0.555 moles</u>

(b) $m_i = MW_i \times n_i$

$m_{O2} = 32 \times 1.2 = 38.4$ kg

(c) $x = m_{salt}$/total mass of sea water

$x = 0.063/2 = 0.0315$

Percentage of salt is **النسبة المؤية للملح هي**

$0.0315 \times 100 = 3.15\%$

Exercise

تمرين

If the velocity of water in a 10 cm diameter pipe is 0.61 m/s, calculate the molar flow rate of the water. Density is 10^3 kg/m^3, MW = 18.

إذا كانت سرعة الماء في انبوب قطره (10 cm) تساوي (0.61 m/s)، احسب معدل الجريان المولي للماء. علماً ان كثافة الماء (10^3 kg/m^3) ووزنه الجزيئي (18).

Example 1.4

المثال 1.4

Dry air is a mixture of gases consists of mainly nitrogen and oxygen. If the molar composition of a sample of air is: N_2 = 78.084%, O_2 = 20.946%, Ar = 0.934% and CO_2 = 0.0412%, plus traces of other gases. What is the mass composition of air? Estimate the average molecular weight for the mixture. Molecular weights:

يُعد الهواء الجاف خليطاً من الغازات يتكون بشكل اساسي من النايتروجين والأوكسجين. إذا كان التركيب المولي لعينة من الهواء: (N_2 = 78.084%) (O_2 = 20.946%)، (Ar = 0.934%) و (CO_2 = 0.0412%)، بالإضافة إلى كميات ضئيلة من الغازات ألاخرى, فما هو التركيب الكتلي للهواء؟ اوجد متوسط الوزن الجزيئي للخليط. الأوزان الجزيئية:

M_{N2} =28, M_{O2} = 32, M_{Ar} = 40, M_{CO2} = 44

Solution

الحل

To convert molar composition to mass composition, we apply equations 1.7, 1.8 and 1.9.

نطبق المعادلات (1.7 و 1.8 و 1.9) لتحويل التركيب المولي إلى التركيب الكتلي،.

Since the tptal number of moles of the mixture is unknown and the molar compostion known, we take **1 kmol as a basis**:

لما كان عدد مولات الخليط غير معلوم، والتركيب المولي معلوم، لذا نتخذ **1 كيلومول أساساً للحسابات**

y_{N2} = 78.084/100 = 0.78084 (y_i = n_i/n_{total}, y_{N2} = n_{N2}/1 kmol of mixture = 0.78084/1)

In this case the mole fraction y_i = number of moles n_i of component i per 1 kmol of mixture, because the total number of moles = 1 kmol which is the basis.

في هذه الحالة يكون الكسر المولي (y_i) مساويا الى عدد المولات (n_i,) لاي مكون i موجود في 1 كيلومول من الخليط, حيث ان مجموع عدد المولات = 1 كيلومول وهو الاساس للحسابات.

m_i = Mi x n_i (Eqn. 1.8)

m_{N2} = M_{N2} x n_{N2} = 28 x (78.084/100) = 21.863 kg of Nitrogen in 1 kmol of mixture

y_{O2} = 20.946/100 = 0.20946 (y_{O2} = n_{O2}/1 kmol of mixture)

m_{O2} = M_{O2} x n_{O2} = 32 x 0.20946 = 6.702 kg

y_{Ar} == 0.934/100 = 0.00934 (= n_{Ar}/1 kmol of mixture)

m_{Ar} = M_{Ar} x n_{Ar} = 40 x 0.00934 = 0.373 kg

y_{CO2} = 0.0412/100 = 0.000412 (= n_{CO2}/1 kmol of mixture)

m_{CO2} = M_{CO2} x n_{CO2} = 44 x 0.000412 = 0.0181 kg

Total mass of the four component in 1 kmol is

مجموع كتل المكونات الاربعة هو

$\sum m_i$ = m_{N2} + m_{O2} + m_{Ar} + m_{CO2} = 21.863 + 6.702 + 0.373 + 0.0181 = 28.956 kg

Mass fractions: **الكسور الكتلية**

The mass fraction $x_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$

$x_{N2} = \frac{m_{N2}}{\sum m_i}$ = 21.863/ 28.956 = 0.755

$x_{O2} = \frac{m_{O2}}{\sum m_i}$ = 6.702/ 28.956 = 0.231

$x_{Ar} = \frac{m_{Ar}}{\sum m_i}$ = 0.373/ 28.956 = 0.0128

$x_{CO2} = \frac{m_{CO2}}{\sum m_i}$ = 0.0181/ 28.956 = 0.000625

The answer can be written in a tabular for as follows:

يمكن كتابة الاجابة على هيئة جدول كما يلي:

Component i	Molecular weight MW_i	Mole fraction y_i	Mass m_i (kg)	Mass Fraction x_i
N_2	28	0.78084	21.863	0.755
O_2	32	0.20946	6.702	0.231
Ar	40	0.00934	0.373	0.0128
CO_2	44	0.000412	0.0181	0.000625
Total		1.00	28.956	0.9994≈ 1

Average molecular weight: **متوسط الوزن الجزيئي:**

$\overline{M} = y_{N2} M_{N2} + y_{O2} M_{O2} + y_{Ar} M_{Ar} + y_{CO2} M_{CO2}$

$\overline{M}$ = 0.78084 x 28 + 0.20946 x 32 + 0.00934 x 40 + 0.000412 x 44 = 28.958

Exercise **تمرين**

A mixture of gases has the following mass composition:

يحتوي خليط من الغازات على التركيب الكتلي التالي:

N_2 = 62.5%, O_2 = 16.2%, CO = 4.2% and CO_2 = 17.1%

Determine the molar composition of the mixture.

حدد التركيب المولي للخليط.

Molarity & Molality **المولارية والمولالية**

Molarity is a unit of concentration; it is the number of gram moles (gmol) of a substance dissolved in one litre of solution.

المولارية هي وحدة لقياس التركيز؛ وهي عدد مولات المادة المذابة في لتر واحد من المحلول بالوحدات غرام-مول (gmol).

Molality *is the number of gram moles dissolved in one kilogram of the solvent.*
1 molar solution is referred to as 1M solution.

المولالية *هي عدد مولات المادة المذابة في كيلو غرام واحد من المذيب بالوحدات (gmol).*
يُشار إلى المحلول المولي (مولارتي = 1) بالرمز (1M).

Example 1.5

المثال 1.5

150 grams of hydrochloric acid is dissolved in water to prepare 4 litres of solution. Calculate the molarity of the diluted acid.

أُذيب 150 غراماً من حامض الهيدروكلوريك في الماء لتحضير 4 لترات من المحلول. احسب مولارية الحامض المخفف.

Solution

الحل

We first calculate the molecular weight of the HCl acid,

نحسب اولاً الوزن الجزيئي لحامض HCl،

$$MW_{HCl} = \text{atomic mass of H} + \text{atomic mass of Cl}$$

$$MW_{HCl} = 1 + 35.5 = 36.5$$

We now convert mass to gmol,

نقوم الآن بتحويل الكتلة إلى مولات (gmol)

$$n_{HCl} = m_{HCl}/MW_{HCl} = 150/36.5 = 4.109 \text{ gmol}$$

The molarity is determined by dividing the number of moles by volume of the solution,

تُحدد قيمة المولارية بقسمة عدد المولات على حجم المحلول،

$$\text{Molarity} = 4.109l/4 = 1.027 \approx 1M$$

Exercise

تمرين

Repeat the solution of the example for sulphuric acid instead of hydrochloric acid.

كرر حل المثال مستبدلاً حامض الهايدروليك بحامض الكبريتيك.

1.8.3 Temperature

1.8.3 درجة الحرارة

Temperature denoted T can be defined as *the degree of hotness or coldness relative to a standard value.* It is in fact a measure of the average kinetic energy of the molecules of a substance. Temperature is measured by measured in one of three **scales**; these are *Celsius*, *Fahrenheit*, and *Kelvin*. Celsius is the metric system of measuring temperature.

يمكن تعريف درجة الحرارة التي يشار اليها (T) بانها *درجة السخونة او البرودة نسبة الى قيمة قياسية معتمدة*، وانها في الواقع مقياساً لمتوسط الطاقة الحركية لجزيئات المادة. تقاس درجة الحرارة استناداً الى ثلاث **تدرجات**، هي *سيليسيوس* و *فهرنهايت* و *كيلفن*، حيث يمثل تدرج سيليسيوس نظام القياس المتري.

The most popular temperature measuring instrument is the **thermometer**. It is made of a calibrated-glass tube containing liquid that expands or contract according to temperature change. Mercury is the common liquid used in thermometers, and depending on the temperature range, other liquids such as alcohol, kerosene and toluene can also be used. **Thermocouples** are widely used in industry as temperature measuring instruments, and as **sensing elements** of temperature in control loops. A thermocouple consists of two dissimilar metal wires joined together to form two junctions. If one junction is heated, an electric current is generated in the circuit, which is directly proportional to the temperature change between the junctions.

يعـد **المحرار** من اهم الآلات المعروفـة لقيـاس درجـة الحراراة، حيث يتألف من انبوبة زجاجية مُدرّجة تحتوتي ســائلاً قابلاً للتمدد او التقلص تبعاً لمقدار التغير في درجة الحرارة. يستخدم الزئبق كثيراً لهذا الغرض, ويمكن ايضـاً استخدام بعض السوائل الاخرى مثل الكحول والكيروسين والتوليوين اســتناداً الى مقدار التغير في درجة الحرارة. تســتخدم **المزدوجات الحرارية** كـآلات قيـاس لـدرجـات الحرارة على نطاق واسـع في المجالات الصــانعية، وهي تستخدم ايضـاً **كعناصرتحسس** في دوائرة التحكم بدرجة حرارة المعدات الصــناعية. يتألف المزدوج الحراري من ســلكين مصــنوعين من معدنين مختلفين متصــلة نهايات احدهما بالآخر. وفي حالة تسـخين احدى نقاط الربط يتولد تياركهربائي في الدائرة الذي يتناســب طردأ مع التغير بفرق درجة الحرارة بين نقطتي الربط.

The **Pyrometer** is used for high temperature measurements in industry. We recommend looking at methods for measuring temperature in relevant sources.

يُســتخدم **البايروميتر** لقياس درجات الحرارة العالية في المصــانع، ونوصــي الاطلاع على طرق قياس درجة الحرارة في المصادر ذات الصلة.

The units of temperature are Celsius (°C), Kelvin (K), Fahrenheit (°F), and Rankine (°R). The conversion from one unit to another is as follows

تقاس درجة الحرارة بوحدات الدرجة المئوية (°C) والكلفن (K) والفهرنهايت (°F) والرانكين (°R)، ويتم التحويل من احدى الوحدات إلى أخرى على النحو التالي

$$K = {}^{o}C + 273 \qquad (1.9\text{-}A)$$

$$ {}^{o}R = {}^{o}F + 460 \qquad (1.9\text{-}B)$$

$$ {}^{o}R = 1.8\ K \qquad (1.9\text{-}C)$$

$$ {}^{o}F = (1.8 \times {}^{O}C) + 32 \qquad (1.9\text{-}D)$$

Example 1.6

المثال 1.6

Convert the following temperatures:

حول درجات الحرارة التالية:

20°C to °F, 100°F to °C, 1200 K to °F, 25°C to °R.

Solution **الحل**

<u>20°C to °F</u>

We apply equation (1.9-D) نطبق المعادلة

$°F = (1.8 \times °C) + 32$ (Eqn.1.9-D)

$T(°F) = [1.8 \times T(°C)] + 32$

$T(°F) = (1.8 \times 20) + 32 = \underline{68°F}$

<u>100°F to °C</u>

$°F = (1.8 \times °C) + 32$

$T(°C) = [T(°F) - 32]/1.8 = (100 - 32)/1.8 = \underline{37.77°C}$

<u>1200 K to °F</u>

We first convert T (K) to T (°C), then use equation (1.9-D).
نحول اولاً ((T (K) الى ((T (°C) ثم نطبق المعادلة (1.9-D).

$T(K) = T(°C) + 273$ (Eqn. 1.9-A)

$T(°C) = T(K) - 273 = 1200 - 273 = 927°C$

$T(°F) = [1.8 \times T(°C)] + 32 = (1.8 \times 927) + 32 = \underline{1700.6°F}$

<u>25°C to °R</u>

We convert °C to °F and then to °R.
نحول درجة الحرارة المؤوية الى الفهرنهايت ثم الى الرانكن.

$T(°F) = [1.8 \times T(°C)] + 32 = (1.8 \times 25) + 32 = 77°F$

$°R = °F + 460$ (Eqn. 1.9-B)

$T(°R) = T(°F) + 460$

$T(°R) = 77 + 460 = \underline{537°R}$

Exercise **تمرين**

Perform the following temperature conversions: قم بتحويلات درجات الحرارة التالية:

200°C to °R, 1100°R to °C, 2050 K to °F, 500°F to K

1.8.4 Pressure

The **Pressure** P is defined as *the force F acting on a unit area A; it has the unit of N/m², or Pascal (Pa).*

1.8.4 الضغط

الضغط (P) هو القوة *(F) المسلطة على وحدة المساحة (A)، وحداته هي (N/m²) أو باسكال (Pa).*

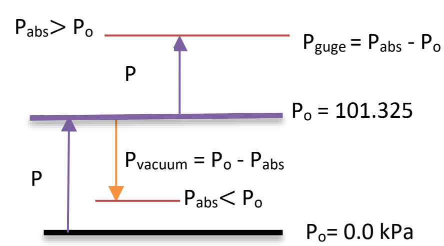
$$P = \frac{F}{A} \qquad (1.10)$$

Pressure is usually developed by pumps to push liquids into pipes and ensure their flow, while compressors are used to raise the pressure of gases for loading in storage vessels.

Pressure is expressed in two ways, one is relative to atmospheric pressure and the other relative to the **absolute zero pressure**. Absolute zero is defined as *the pressure that would only occur in perfect vacuum.* The pressure measured relative to the absolute zero is called **absolute pressure** (P_{abs}). The atmospheric pressure (P_o) varies in value according to location. It is measured at sea level to be about 101.325 $kPa_{(abs)}$; the abbreviation "abs" indicates that the pressure is absolute. The value of the atmospheric pressure, in British units is 14.695 psia (pound per square inch absolute) where the letter "a" refers to absolute pressure. The pressure measured relative to the atmospheric pressure is known as the **relative pressure** or **gauge pressure** (P_{gauage}) The letter "g" is normally used to refer to gauge pressure. The pressure gauge typically reads relative pressure; that is, the zero mark on the instrument is equivalent to the atmospheric pressure value. However, some gauges are calibrated to read absolute pressure values directly. It is worth mentioning that the general use of the term "pressure" refers to gauge pressure. The pressure value less than the prevailing atmospheric is called **vacuum pressure** (P_{vacc}).

وعادة ما تولد المضخات الضغط اللازم لدفع السائل في الانابيب وضمان جريانها، بينما تستخدم الضاغطات لرفع ضغط الغازات لحفظها في اوعية التخزين.

يُقاس الضغط بطريقتين، اما نسبة إلى الضغط الجوي السائد او نسبة إلى **ضغط الصفر المطلق**. والصفر المطلق *هو مقدار الضغط الذي يتولد فقط في حيز مفرغ تماماً من الهواء.* ويسمى الضغط المقاس نسبة له **الضغط المطلق** (P_{abs}). والمعلوم ان قيمة الضغط الجوي (P_o) تتغير حسب موقع القياس، حيث يُتخذ القيمة (101.325 $kPa_{(abs}$ عند مستوى سطح البحر. وتشير الحروف (abs) الى ان الضغط هوضغط مطلق، وهي مختصر الكلمة (absolute). تبلغ قيمة الضغط الجوي بالوحدات البريطانية (14.695 psia) (باوند لكل انج مربع)، حيث يشير الحرف (a) الى (absolute) اي ان الضغط هو ضغط مطلق. يدعى الضغط المقاس نسبة إلى الضغط الجوي **الضغط النسبي** او **ضغط المقياس** (P_{gauage}) ويشار له بالحرف (g) أو تكتب كلمة (gauge) التي تعني مقياس الضغط . ويقرأ المقياس عادة ضغطاً نسبياً, أي ان الصفر المثبت عليه يعادل الضغط الجوي، إلا ان بعض المقاييس تُدرج بحيث تقرأ ضغطاً مطلقاً بصورة مباشرة. وتجدر الاشارة إلى ان استخدام كلمة "الضغط" وحدها تعني عادة ضغط المقياس. يسمى الضغط الذي يقل مقداره عن الضغط الجوي السائد **ضغط الفراغ** (P_{vacc}).



$$P_{gauge} = P_{abs} - P_o \qquad (1.11)$$

$$P_{vacc} = P_o - P_{abs} \qquad (1.12)$$

1.8.4.1 Pressure head

The pressure due to the liquid depth is called ***pressure head***. It is represented by h and has the unit of meter (m). It is also called **hydrostatic pressure**. The pressure head is expressed as

1.8.4.1 عمود الضغط

يسمى الضغط الناجم عن ارتفاع عمود السائل الساكن ***عمود الضغط***، رمزه (h) ووحداته المتر (m). ويطلق عليه ايضاً اسم **الضغط الهايدروستاتيكي**. يُكتب عمود الضغط بالصيغة التالية

$$h = \frac{P}{\rho g} \qquad (10.13)$$

Where P is the pressure in Pa, ρ is the density of the fluid in kg/m^3 and g is the gravitational constant, which is 9.81 m/s^2.

حيث P هو الضغط بـوحدات الباسكال (Pa)، و ρ هي كثافة السائل بوحدات (kg/m^3) و g هو ثابت الجاذبية الذي يساوي ($9.81\ m/s^2$)

Let us consider a liquid water in a vessel as shown in Fig 1.8,

دعونا نتفحص الماء السائل الموجود في وعاء كما هو موضح في الشكل (1.8)،

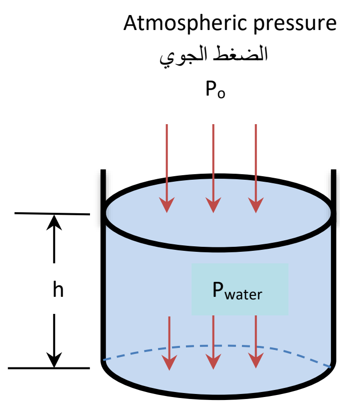


Figure 1.8 Hydrostatic pressure of water column in a vessel
الشكل 1.8 الضغط الهيدروستاتيكي الناجم عن عمود الماء في الوعاء

The absolute pressure at the base of the vessel in Fig 1.8 is equal to the atmospheric pressure plus the pressure due to the height of the liquid,

الضغط المطلق المسلط على قاعدة الوعاء في الشكل (1.8) يساوي الضغط الجوي مضافًا إليه الضغط النااتج عن ارتفاع السائل،

$$P = P_o + h\rho g \qquad (10.14)$$

Pressure measuring instruments

The common measurement instruments for pressure are the manometers, pressure gauges.

آلات قياس الضغط

تُعد المانومترات ومقاييس الضغط من الآلات الشائعة لقياس للضغط.



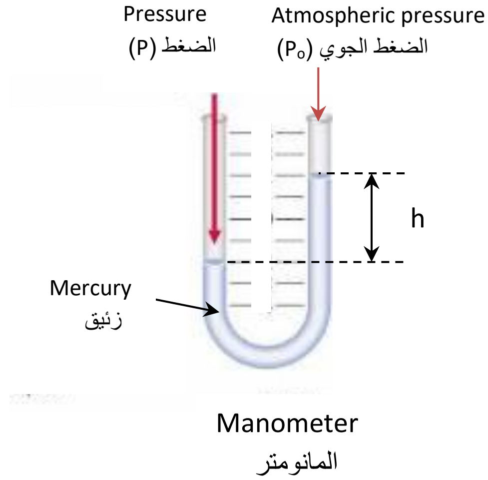


Figure 1.9 Pressure measurements

الشكل 1.9 طرق قياس الضغط

1.8.4.2 Pressure Difference

The **pressure drop** or **pressure difference** (ΔP) is an important parameter in fluid flow calculations inside pipes and conduits. It can be measured by connecting a U-tube manometer at two points along the flow line. This may not be practical in some flow systems and therefor pressure sensors, such as the Bourdon gauge are widely used. The **orifice meter** is also used to measure flow rate based on the pressure difference across the **orifice plate** in a pipe, as shown in Fig 1.10.

1.8.4.2 فرق الضغط

يعد **انخفاض الضغط** أو **فرق الضغط** (ΔP) معلمة مهمة في حساباتجريان السوائل داخل الأنابيب والقنوات. وان احدى الطرق لقياسه هي توصيل مانومتر على هيئة (U) في نقطتين مختلفتين على امتداد طول خط الجريان. وقد لا يكون هذا عملي في بعض منظومات الجريان، لذلك تستخدم أجهزة استشعار الضغط مثل مقياس بوردون على نطاق واسع في المصانع. ويستخدم **المقياس الفوهي** ايضا لقياس معدل الجريان اعتماداً على قيمة فرق الضغط في نقطتين عبر **الصفيحة المثقوبة** المثبتة في الانبوب, كما هو موضح في الشكل (1.10).

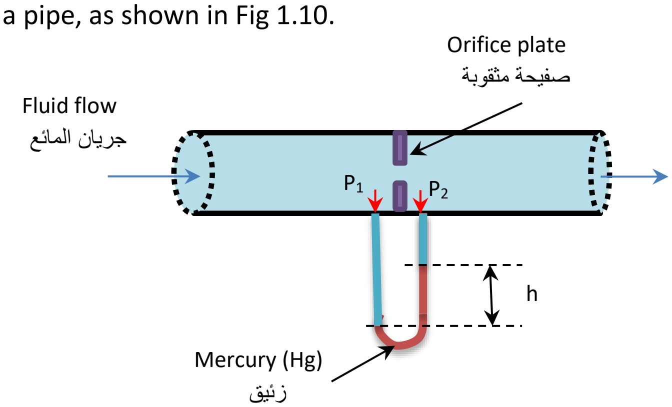


Figure 1.10 Orifice flow metre **الشكل 1.10** المقياس الفوهي

The pressure drop across the orifice plate is expressed as

يُكتب مقدار انخفاض الضغط عبر الصفيحة المثقوبة بالصيغة

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$-\Delta P = P_1 - P_2 = h\,(\rho_{Hg} - \rho_{fluid})\,g \qquad \text{(SI \& cgs units)} \qquad (10.15)$$

The pressure drop is indicated with a minus sign ($-\Delta P$) to obtain a positive value for pressure drop. This is because (P_1) is usually greater than (P_2) due to friction during the flow of fluids in pipes.

We will discuss pressure units in different systems and their conversions later in this chapter.

We will now solve some examples in SI units to understand the various concepts of pressure.

ويشار الى انخفاض الضغط مع علامة السالب ($-\Delta P$) للحصول على قيمة موجبة في لفرق الضغط، وذلك لأن قيمة (P_1) هي عادة أكبر من (P_2) بسبب الاحتكاك اثناء جريان المائع في الأنابيب.

سنناقش وحدات الضغط في الأنظمة المختلفة وتحويلاتها لاحقًا في هذا الفصل.

والآن نقوم بحل بعض الأمثلة بالوحدات العالمية (SI) لادراك المفاهيم المختلفة للضغط.

Example 1.7

المثال 1.7

What will be the absolute pressure if the gauge reading is 1.9 bar. (1 bar = 100 kPa).

ما هو مقدار الضغط المطلق إذا كانت قراءة المقياس تساوي 1.9 بار؟ (1 بار = 100 كيلوباسكال)، اي (1 bar = 100 kPa)

Solution

الحل

The pressure gauge normally indicates the pressure relative to the atmospheric value which is 101.325 kPa. The absolute pressure value is estimated by equation 1.11. However, pressure gauges may be calibrated to read absolute pressure directly.

يقرأ مقياس الضغط عادة قيم الضغط نسبة إلى الضغط الجوي التي تساوي 101.325 كيلو باسكال (101.325 kPa)، وتُقدر قيمة الضغط المطلق باستخدام المعادلة (1.11). مع ذلك، يمكن معايرة أجهزة قياس الضغط لقراءة الضغط المطلق مباشرة.

$$P_{gauge} = P_{abs} - P_o \qquad \text{(Eqn. 1.11)}$$

$$P_{abs} = P_o + P_{gauge}$$

$$P_{abs} = 101.325 + (1.9 \times 100) = \underline{291.325\ kPa}$$

Example 1.8

المثال 1.8

If the absolute pressure is 50 kPa, calculate the equivalent vacuum pressure.

إذا كان الضغط المطلق 50 كيلو باسكال، فاحسب ضغط الفراغ المكافيء لهذا الضغط..

Solution

الحل

$$P_{vacc} = P_o - P_{abs} \qquad \text{(Eqn.1.12)}$$

$$P_{vacc} = 101.325 - 50 = \underline{51.325\ kPa}$$

Exercise

Convert the following absolute pressure values to the corresponding gauage and vacuum pressure.

تمرين

قم بتحويل قيم الضغط المطلقة التالية إلى ما يعادلها من ضغط المقياس وضغط الفراغ.

21 kPa, 300 kPa, 78 kPa, 750 kPa.

Example 1.9

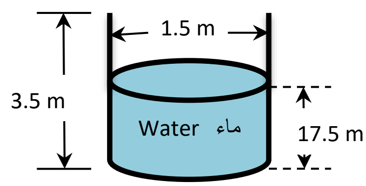
A cylindrical vessel of 1.5 m diameter and 3.5 m height is half full of water. Determine (a) the weight of the water and (b) the absolute pressure iexerted on the bottom of the vessel.

المثال 1.9

وعاء أسطواني الشكل قطره 1.5 متر وارتفاعه 3.5 متر يمتلئ نصفه بالماء. حدد (أ) وزن الماء (ب) الضغط المطلق المؤثر في قاع الوعاء.

$\rho_{water} = 10^3$ kg/m^3, g = 9.81 m/s^2

Solution



(a) The weight of the water (Wt_{water}) is given by equation 1.1,

(أ) نحصل على وزن الماء (Wt_{wate}) باستخدام المعادلة (1.1)،

Wt = m.g (Eqn. 1.1)

$m_{water} = V_{water} \times \rho_{water}$

Volume = height x cross section area

$V_{water} = (3.5/2) \times (\pi D^2/4) = 1.75 \times (\pi \times 1.5^2/4)$

$V_{water} = 3.092$ m^3

$m_{water} = V_{water} \times \rho_{water} = 3.092 \times 1000 = 3092$ kg

$Wt_{water} = m_{water} \times g = 3092 \times 9.81 = 30332.52$ N

Wt_{water} = <u>30.332 kN</u>

(b) To estimate the absolute pressure at the bottom of the vessel P_{abs}, we apply equation 10.14.

(ب) نطبق المعادلة (10.14) لتقدير الضغط المطلق المؤثر في قاع الوعاء P_{abs}.

$$P_{abs} = P_o + h\rho g \qquad \text{(Eqn.10.14)}$$

$$P_o = 101.325 \text{ kPa} = 101.325 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{abs} = 101.325 \times 10^3 + (1.75 \times 1000 \times 9.81)$$

$$p_{abs} = 118492.5 \text{ Pa} = \underline{118.492 \text{ kPa}}$$

Exercise

تمرين

Repeat the solution for diesel with specific gravity of 0.840.

كرر الحل لمادة الديزل بدلاً من الماء. اتخذ الثقل النوعي للديزل 0.840.

Example 1.10

المثال 1.10

The differential reading of a mercury-manometer installed across an orifice plate in a pipe line transporting natural gas is 3.2 cm. Estimate the pressure drop across the plate.

اذا كانت قراءة المانومتر الزئبقي المثبت عبر صفيحة مثقوبة في انبوب ينقل الغاز الطبيعي تساوي (3.2 cm), قم بتقدير هبوط الضغط عبر الصفيحة.

$$\rho_{Hg} = 13{,}600 \text{ kg/m}^3 , \rho_{gas} = 0.65 \text{ kg/m}^3$$

Solution

الحل

We Apply equation 10.15:

نطبق المعادلة (10.15):

$$-\Delta P = P_1 - P_2 = h\,(\rho_{Hg} - \rho_{fluid})\,g \qquad \text{(Eqn. 10.15)}$$

$$h = 3.2 \text{ cm} = 0.032 \text{ m} \quad , \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$-\Delta P = 0.032 \times (13600 - 0.65) \times 9.81 = 4269.3 \text{ N} = \underline{4.269 \text{ kN}}$$

Comments

الملاحظات

Note that the density of the gas is very low compared to mercury. Generally, the effect of gas density is negligible, and equation 1.15 reduces to

لاحظ أن كثافة الغاز منخفضة جدًا مقارنة بالزئبق، لذا بشكل عام يتم اهمال تأثير كثافة الغاز.

$$-\Delta P = P_1 - P_2 = h.\rho.\,g \qquad (1.16)$$

Where, ρ is the density of the liquid in the manometer.

حيث ان ρ هي كثافة السائل في المانومتر.

Example 1.11

An orifice meter is used to measure the flow rate of water in a pipe line. The differential reading of the manometer is 20 mm. Determine the pressure difference across the orifice plate. Assume the density of the manometer liquid to be 1200 kg/m^3.

المثال 1.11

مقياس فوهي مثبت في انبوب لقياس معدل جريان الماء، وكانت قراءة المانومتر (20 mm). حدد مقدار فرق الضغط عبر صفيحة المقياس. افترض أن كثافة سائل المانومتر تساوي (1200 kg/m^3).

Solution

الحل

$$-\Delta P = P_1 - P_2 = h(\rho_{Hg} - \rho_{fluid})\, g \qquad \text{(Eqn. 10.15)}$$

$$-\Delta P = P_1 - P_2 = h(\rho_{liquid} - \rho_{water})\, g$$

$$-\Delta P = 20 \times 10^{-3}\,(1200 - 1000) \times 9.81 = \underline{39.24\ Pa}$$

Comments

1. Here the density of water is close to the density of the liquid in the U tube-manometer; thus its impact cannot be ignored.
2. The measurements of (-ΔP) by a **differential pressure cell** is used to estimate the height of the **liquid level h** in industrial vessels. Level is an important variable in the control systems of industrial process.

الملاحظات

1. كثافة الماء في هذا المثال قريبة من كثافة السائل الموجود في المانومتر، وعليه لا يمكن تجاهل تأثيرها.
2. يستخدام قياس (-ΔP) بواسطة **جهاز الضغط التفاضلي** لتقدير **ارتفاع مستوى السائل h** في اللأوعية الصناعية. ويُعد ارتفاع السائل احد المتغيرات المهمةً في منظومات السيطرة والتحكم بالعمليات الصناعية.

1.9 Units of Measurements

Quantities and physical properties are measured by some common **units**, for example the kilogram and pound are used to estimate mass. Distance is measured by kilometer or mile and sometimes by meter or yard. Why is the kilogram used in some location and the pound in another? What is the difference between the meter and the yard? How many miles equal 10 kilometers? To answer these questions, we need to address the different systems of units. Each system covers the units of quantities and physical properties, and specifys how units are related. For example, the kilometer and the meter are classified as SI units and 1 kilometer is equal to 1000 meter. The pound and yard belong to another system, and so on.

1.9 وحدات القياس

تقاس الكميات والخواص الفيزيائية **بوحدات** معروفة ومتداولة، فمثلاً يستخدم الكيلوغرام او الباوند لتحديد مقدار الكتلة، وكذلك تقاس المسافة بوحدات الكيلومتر واحيانا الميل اوالمتر او اليارده. فلماذا يستخدم الكيلوغرام في بعض المناطق بينما يستخدم الباوند في اخرى ؟ وما الفرق بين المتر واليارده ؟ وكم يعادل مسافة 10 كيلومتر من الاميال ؟ وللاجابة على هذه الاسئلة، علينا ان نتطرق الى انظمة الوحدات، حيث يجمع كل نظام في طياته وحدات قياس للكميات وللخواص الفيزيائية، وكذلك يوفر علاقات تربط ما بينها. فالكيلوغرام والمتر مثلا ينتميان الى النظام الدولي للوحدات (SI) والكيلومتر يساوي 1000 متر، والباوند واليارده ينتميان الى نظام آخر وهكذا.

No doubt, using one unified system of units will facilitate the transfer and spread of knowledge for science and technology among nations of the globe. The use of one consistent system is also essential to solve Engineering problems and design of process equipment.

There are seven fundamental physical quantities in engineering measurements. These are: Length, Time, Mass, Temperature, Electric current, Number of Moles and Luminous intensity. We have already mentioned the parameters and process variables. Some of the variables are made up of combination of the fundamental quantities such as volume and flow rate. The units based on combination of fundamental units are called **derived units**. For example the unit of density is kg/m^3 which is combination of mass and length units.

1.10 Systems of Units

There are four unit systems in common use:

1.10.1 cgs System

In this system, length is measured by centimeter (cm), mass is measured by gram (g) and time is measured by second (s). The unit of Force is the Dyne; it is defined as the force that would give a mass of 1g an acceleration of 1 cm/s^2.

1.10.2 International System of Units

This system is commonly known as the SI system of units; it is a further development of the cgs system. It is used internationally except in the United States of America. Length is measured by meter (m), mass is measured by kilogram (kg) and time is measured by second (s). Force is measured by Newton, defined as the force acting on a mass of 1kg with an acceleration of 1 m/s^2.

ولا شـــك ان اعتماد نظام موحد لجميع اقطار العالم من شـأنه ان يســهل مهمة نشـر العلوم والتكنولوجيا، كما ان تنسيق الوحدات هو احد المتطلبات الاساسية لحل المسائل الهندسية وتصميم المعدات الصناعية.

هناك سبع كميات فيزيائية أساسية في القياسات الهندسية. وهي: الطول والزمن والكتلة ودرجة الحرارة والتيار الكهربائي وعدد المولات وشدة الإضاءة. لقد ذكرنا سابقاً المَعلمات ومتغيرات العمليات الصناعية، لكن بعض المتغيرات تتركب من مجموعة من الكميات الأساسية مثل الحجم ومعدل الجريان. وتسمى الوحدات المبنية على مجموعة من الوحدات الأساسية **الوحدات المشتقة**. على سبيل المثال، وحدة الكثافة هي (kg/m^3) وهي مركبة من وحدات الكتلة والطول.

1.10 انظمة الوحدات

هناك اربعة انظمة للوحدات شائعة الاستخدام:

1.10.1 نظام سينتيمتر- غرام - ثانية

يرمز لهذا النظام (cgs)، و يقاس فيه الطول بالســـنتيمتر (cm) والكتلة بالغرام (g) والزمن بالثانية (s) اما وحدة القوة فهي الداين، وهو يعرف بانه القوة التي تؤثر في كتلة (1 g) بتعجيل قدره ($1\ cm/s^2$) .

1.10.2 النظام العالمي للوحدات

يرمز له (SI)، ويعد تطويراً لنظام ســـنتيمتر- غرام – ثانية، ويستخدم هذا النظام دوليًا باستثناء الولايات المتحدة الأمريكية. يقاس الطول بالمتر (m) والكتلة بالكيموغرام (kg) والزمن بالثانية (s) اما وحدة القوة هنا فهي النيوتن، ويعرف بـانـه القوة التي تؤثر في كتلـة (1kg) بتعجيـل قدره ($1m/s^2$) .

Prefixes are used to form multiples or fractions of the units according to measurement requirements. For example the meter (m) is considered small to measure distance, thus (km) is used instead. The k here is a prefix to the meter (1 km = 10^3m). In some applications the meter is too large and the millimeter (mm) is used, and the m here is a prefix to the meter to convert it to a smaller unit (1mm = 10^{-3} m). The mm and km are considered as new length units. Table 1.1 shows the common prefixes and their values.

توضـــع **ســوابق مضـــاعِفة** او **مصــغِرة** قبل الوحدات مباشــرة لتكبيرها او تصــغيرها حســب متطلبات القياس. فمثلا يعد المتر وحدة صــغيرة لقياس المســافة فيســتعمل الكيلومتر، ويرمز له (km) وهنا الرمز k ســابقاً الحرف m للـدلالـة على مضـــاعفـة المتر ثلاث مرات (1 km = 10^3m). وفي تطبيق آخر قد يكون المتر وحدة كبيرة فيســتعمل المليلمتر (mm) وحرف m الاول هنا ســـابقـة مُصـــغِرة لتحوليـه الى وحـدة اصـــغر (1mm = 10^{-3} m). تعد الوحدات الجديدة مثل mm و km وحدات مســـتقلة، ويبين الجدول 1.1 الســـوابق الشائعة ومقاديرها.

Unit prefix السابقة للوحدات	Symbol الرمز	Multiplier المقدار
Terra	T	10^{12}
Giga	G	10^{9}
Mega	M	10^{6}
kilo	k	10^{3}
hecto	h	10^{2}
deca	da	10^{1}
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
micro	µ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}

Table 1.1 Prefixes to units

الجدول 1.1 سوابق الوحدات ومقاديرها

1.10.3 Foot-Pound-Second System

This is the absolute English system of units; it is abbreviated as (fps); the foot (ft) is used to measure the length, the pound (lb) is a measure for mass and the second (s) is the unit for time. Force is measured by the poundal, defined as the force acting on a mass of one pound resulting in an acceleration of 1 ft/s^2. The pound here is frequently identified as pound-mass and denoted as lb_m.

1.10.3 نظام قدم - باوند - ثانية

يرمز لـه (fps) ويقـاس الطول فيـه بـالقـدم (ft) والكتلـة بـالبـاونـد (lb) والزمن بـالثـانيـة (s). امـا القوة فتقـاس بالباوندال الذي يمثل مقدار القوة المؤثرة في كتلة باوند واحد بتعجيل قدره ($1\ ft/s^2$) ويتميز الباوند هنا بتسـميته احيانا باوند - كتلة حيث يرمز له (lb_m).

1.10.4 The American Engineering System

The base units in this system are foot (ft), second (s) and pound-force (lb_f). The pound-force is the force acting on 1 lb_m resulting in acceleration of 2.17 ft/s^2. The unit of mass in this system is the slug, defined as the mass accelerated 1 ft/s^2 due to an acting force of 1 lb_f. Unlike the other unit systems, it is a derived quantity. The pressure is given in lb_f/in^2, commonly written as psi.
We can convert slug to lbf and vice versa based on Newton's law as follows:

1.10.4 النظام الهندسي الاميركي للوحدات

الوحدات الاساسية في هذا النظام هي القدم (ft) والثانية (s) والبـاونـد - قوة (lb_f)، وتعرف وحدة البـاونـد- قوة بـالقوة المؤثرة في كتلـة بـاونـد واحـد بتعجيـل قـدره ($32.17\ ft/s^2$). وبخلاف الانظمـة الاخرى فـالكتلـة هنـا كمية مشتقة وحدة قياسها السلاك الذي يعرف بالكتلة التي يتم تعجَيلها بمقدار ($1\ ft/s^2$) عند تسـليط قوة مقدارها ($1\ lb_f$). يقاس الضـغط بوحدة (lbf/in^2)، ويُكتب عادة (psi). ويمكن تحويل السلاك الى (lbf) والعكس استنادا الى قانون نيوتن كالاتي:

$$\text{Force } (lb_f) = \text{Mass (slug)} \times \text{Acceleration } (ft/s^2)$$

$$lb_f = \text{slug} \times 32.17$$

The common derived units are shown in table 1.2.

يبين الجدول 1.2 وحدات الكميات المشتقة الشائعة.

Quantity	cgs system	SI system	fps system	Engineering System	الكمية
Mass	g	kg	lb	Slug	الكتلة
Length	cm	m	ft	ft	الطول
Time	s	s	s	s	الزمن
Force	dyne	Newton (N)	Poundal (pdl)	lb_f	القوة
Energy	erg	Joule (J)	pdl - ft	lb_f-ft	الطاقة
Pressure	dyne/cm^2	Pascal (Pa) or N/m^2	pdl/ft^2	psi	الضغط
Power	erg/s	Watt (W)	Pdl-ft/s	HP	القدرة
Temperature	^{0}C	K	^{0}F	^{0}F	درجة لحرارة
Heat	cal	J	Btu	Btu	الحرارة
Viscosity	poise	Ns/m^2	Pdl-s/ft^2		اللزوجة
Kinematic viscosity	stoke	m^2/s	ft^2/s	ft^2/s	اللزوجةالكينماتية
Density	g/cm^3	kg/m^3	lb_m/ft^3	slug/ft^3	الكثافة
Surface Tension	dyne/cm	N/m	pdl/ft	lb_f/ft	الشد السطحي
Shear Stress	dyne/cm^2	N/m^2	pdl/ft^2	lb_f/ft^2	اجهاد القص
Volumetric flow rate	cm^3/s	m^3/s	ft^3/s	ft^3/s	معدل لجريان الحجمي
Mass flow rate	g/s	kg/s	lb/s	slug/s	معدل الجريان الكتلي
Molar flow rate	gmol/s	kgmol/s	lbmol/s	lbmol/s	معدل الجريان المولي

Table 1.2 Derived units

الجدول 1.2 الوحدات المشتقة

1.10.5 Conversion of Units

It is customary to use **conversion factors** to convert derived quantities from one unit system to another. In fact, conversion can be performed using the base units. Conversion factors for base units and some derived units are provided in table 1.3.

1.10.5 تحويل الوحدات

جرت العادة على استخدام **معاملات تحويل الوحدات** وهي ارقام لتحويل الكميات المشـــتقة المتداولة من نظام الى اخر. وفي واقع الحال يمكن اجراء عملية التحويل على اســاس تحويل الوحدات الاســاســية المتركبة منها الوحدة المشتقة. يتوفر في الجدول 1.3 معاملات تحويل الكميات الاساسية وبعض الكميات المشتقة :

Mass	1 kg = 1000 g = 2.2046 lb_m , 1lb_m = 0.4536 kg 1 tonne = 1000 kg
Density	1 kg/m^3 = 0.0624 lb/ft^3 , 1 lb/ft^3 = 16.02 kg/m^3 = 0.016 g/cm^3 1 lb_m = 16 oz = 0.453593 kg
Distance	1 km = 1000 m = 0.6214 mile, 1 mile = 5280 ft 1 m =100 cm = 1000 mm = 10^6 micrometers (microns) 1 m = 3.2808 ft, 1 ft = 12 in. = 1/3 yd = 0.30048 m, 1 in = 2.54 cm
Area	1 m^2 = 10.764 ft^2 , 1 ft^2 = 0.0929 m^2 1 cm^2 = 0.155 in^2 , 1in^2 = 6.452 cm^2
Volume	1 m^3 = 10^3 l (l = litres) = 10^6 cm^3 = 10^3 ml, 1 m^3 = 6.29 US Barrels of oil. 1 m^3 = 35.3145 ft^3 = 264.17 US gal = 317.25 UK gal 1 ft^3 = 0.028317 m^3 = 28.317 L (L = litres), 1 L = 10^3 cm^3
Force	1 N = 1 kg.m/s^2 = 10^5 dynes = 0.2248 lb_f (weight is force) 1 lb_f = 32.174 lb_m.ft/s^2 = 4.4482 N
Pressure	1 atm = 1.01325 x10^5 Pa (N/m^2) = 101.325 kPa = 0.101325 MPa 1 atm = 1.01325 bar, 1 bar = 10^5 N/m^2 1 atm = 760 mm Hg 1 atm = 14.696 psi (lb_f/in^2)
Energy	1 J = 1 N·m = 10^7 ergs 1 J = 0.239 cal = 9.478 x 10^{-4} Btu , 1 Btu = 1055 J , 1 cal = 4.1864 J
Power	1 kW h = 3412.14 Btu 1 W = 1 J/s = 1.341 hp, 1 kW = 3412.14 Btu/h, 1 ton of refrigeration = 12000 Btu/h
Temperature	1°F = 1.8 (°C) + 32 , 1 K= 273°C. 1.8 . ΔT(°C) = ΔT(°F) , ΔT(°C) =ΔT(K) , ΔT(°F) = ΔT(°R)
Specific heat	4.186 kJ/kg .°C = 4.186 kJ/kg .K = 1 Btu/(lb.°F)

Table 1.3 Unit conversion factors

الجدول 1.3 معاملات تحويل الوحدات

Example 1.12

المثال 1.12

Convert units of the units of the following quantities from SI to fps:

حول وحدات الكميات التالية من نظام (SI) الى (fps):

(a) Distance = 30 km,(b) $g = 9.81\ m/s^2$

Solution

الحل

(a) Distance is a length base unit; therefore we use the conversation factor for km to mile from table 1.3,

(a) المسافة هي بمثابة وحدة الطول الأساسية؛ ولذلك نستخدم معامل التحويل من كيلومتر الى ميل من الجدول (1.3)،

Distance = 30 x 0.6214 = <u>18.642 mile</u>

(b) g is the acceleration due to gravity and has a derived unit of m/s^2. We can convert the length base units to achieve the complete conversion as follows

(b) g هو التعجيل الجاذبي، وحدة قياسه المشتقة هي (m/s^2). يمكننا تحويل الوحدات الأساسية للطول لتحقيق التحويل الكامل على النحوالتالي، ولا ضرورة لتحويل وحدة قياس الزمن لانها لم تتغيير،

$$\frac{9.81\ \not{m}}{s^2}\ \Big|\ \frac{3.2808\ ft}{\not{m}}$$

g = 9.81 x 3.2808 = <u>32.184 ft/s²</u>

Comments

الملاحظات

Using a horizontal line and a number of vertical lines is a simple method to conduct the calculations and obtain the final unit. In the first compartment, we write the quantity and its value and units. The horizontal line is division and the vertical lines are multiplications. In the second compartment, we write the conversion of the first base unit according to table 1.3 so that the original unit m cancels out. This is followed by other conversions. We cross the units as shown above to achieve final conversion.

يُعد استخدام الخط أفقي وعدد من الخطوط الرأسية طريقة بسيطة لإجراء الحسابات والحصول على الواحدات النهائية. ففي الموقع الأولى نكتب الكمية وقيمتها ووحداتها. وهنا يكون الخط الأفقي بمثابة خط القسمة والخطوط الرأسية تمثل خطوط الضرب. وفي الموقع التالي نكتب تحويل الوحدة الأساسية الأولى وفقاً لما ورد في الجدول (1.3) بحيث تُختصر الوحدة الاصلية (m)، ويتبع ذلك التحويلات الأخرى. نختصر الوحدات المشتركة في البسط والمقام بوضع خطوط مائلة عليها لتحقيق التحويل النهائي كما هو موضح في أعلاه.

Exercise

تمرين

Using the lines method, convert units of the units of the following quantities from SI to fps:

قم بإجراء تحويل وحدات الكميات التالية من نظام (SI) الى (fps) مستخدما طريقة الخطوط:

(a) Speed =110 km/h, (b) Temperature = 456 K ,(c) Pressure = 740 kPa

Example 1.13

المثال 1.13

The density of water is 10^3 kg/m^2, what will the density be in the lb$_m$/ft^3?

اذا علمت ان كثافة الماء تساوي (10^3 kg/m^2) ، فكم ستكون الكثافة بوحدات (lb$_m$/ft^3)؟

Solution

الحل

Density is a derived quantity from the base units mass and length. There are two ways to conduct the conversion, one is to use the conversion factor from table 1.3, and the other way is to use the conversion of the base units.

الكثافة هي كمية مشتقة من الوحدات الأساسية الكتلة والطول. وهناك طريقتان لإجراء التحويل، إحداهما هي استخدام معامل التحويل من الجدول (1.3)، والطريقة الأخرى هي استخدام تحويل الوحدات الأساسية.

<u>Method 1</u>

<u>الطريقةالاولى</u>

The conversion factor is

معامل التحويل من الجدول هو

1 kg/m^3 = 0.0624 lb/ft^3

Density of water = 10^3 kg/m^3 = 10^3 x 0.0624 = <u>62.4 lb/ft^3</u>

<u>Method 2, the lines method</u>

<u>الطريقة الثانية, طريقة الخطوط</u>

10^3 kg	2.2046 lbm	m^3
m^3	kg	35.3145 ft^3

Density of water in lb$_m$/ft^3 = (10^3 x 2.2046)/35.3145 = 62.428 lb$_m$/ft^3

<u>Note:</u> the unit of mass is first changed from kg to lb$_m$, in the second compartment so that kg cancels out, and then the unit of volume is changed from m^3 to ft^3 in the third one so that m^3 cancels out. Above the line: kg = 2.2046 lb$_m$, and below the line: m^3 = 35.3145 ft^3.

<u>ملاحظة:</u> يتم أولاً تغيير وحدة الكتلة من (kg) إلى (lb$_m$) في الموقع الثاني بحيث يُختصر الكيلوغرام (kg)، ثم تغيير وحدة الحجم من (m^3) إلى (ft^3) في الموقع الثالث فيُختصر (m^3). وفوق الخط الافقي:
معاملات التحويل: فوق الخط (kg = 2.2046 lb$_m$) وتحته: (1 m^3 = 35.3145 ft^3)

Example 1.14

المثال 1.14

The specific heat capacity of air at constant pressure is 1.005 kJ/kgK, Estimate the value in the f.p.s system.

اذا كانت الحرارة النوعية للهواء عند الضغط الثابت تساوي (1.005 kJ/kgK)، فما هي قيمتها في نظام قدم - باوند - ثانية؟

Solution

Given: Cp_{air} = 1.005 kJ/kgK, K here refers to temperature difference. The conversion factor is ΔK = 1.8°F

الحل

المعلوم ان (C_{pair} = 1.005 kJ/kgK)، حيث تشير K هنا إلى الفرق بدرجة الحرارة، لذا يكون رقم التحويل بالصيغة (ΔK = 1.8°F).

1.005 ~~kJ~~	$9.478 \times 10^{-4} \times 10^{3}$ Btu	~~kg~~	~~K~~
~~kg.K~~	~~kJ~~	2.2046 lb_m	1.8 F

$$Cp_{air} = (1.005 \times 9.478 \times 10^{-4} \times 10^{3})/(2.2046 \times 1.8) = 0.240\ Btu/lb_m{}^{o}F$$

Example 1.15

20 lb_m of water is heated from 60°F to 135°F. The specific heat capacity of water is 4.186 kJ/kgK. The amount of heat required to raise the temperature is given by the following equation

المثال 1.15

يُسخن ($20\ lb_m$) من الماء من 60 درجة فهرنهايت إلى 135 درجة فهرنهايت. اذا علمت ان السعة الحرارة النوعية للماء تساوي (4.186 kJ/kgK)، وان كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة الحرارة تُحسب بموجب المعادلة التالية

Heat = mass x specific heat capacity x temperature difference

كمية الحرارة = الكتلة x السعة الحرارة النوعية x الفرق بدرجة الحرارة

$$Q = m.\ C_p\ .\ \Delta T$$

Determine the amount of heat in SI units (kJ).

اوجد كمية الحرارة بالوحدات العالمية (kJ).

Solution

الحل

<u>Method 1</u>

We convert the units of mass and temperature difference to SI separately and then perform the calculations.

<u>الطريقة الاولى</u>

نقوم بتحويل وحدات الكتلة وفرق درجة الحرارة إلى وحدات (SI) بشكل منفصل ثم نكمل الحسابات.

$$1 lb_m = 0.4536\ kg$$

$$m = 20 \times 0.4536 = 9.072\ kg$$

$$1.8 \times \Delta T(^{o}C) = \Delta T(^{o}F)\ , \quad \Delta T(^{o}F) = 135 - 60 = 75^{o}F$$

$$1.8 \times (\Delta T\ ^{o}C) = \Delta T\ (75^{o}F)$$

$\Delta T(^{o}C) = 75/1.8 = 41.666^{6o}C$

$\Delta T(^{o}C) = \Delta T(K)$

$Q\ (kJ) = m\ (kg) \times C_p(kJ/kgK) \times \Delta T(K)$

$Q = 9.072 \times 4.186 \times 41.6666 = \underline{1582.3\ kJ}$

Method 2 **االطريقة الثانية**

$1lb_m = 0.4536\ kg$, $1.8\ .\ \Delta T(^{o}C) = \Delta T(\ ^{o}F),\ \Delta T(^{o}C) = \Delta T(K)$

q =

20 lb_m	0.4536 kg	75°F	(1/1.8) K	4.186 kJ
	lb_m		°F	kg . K

$Q = (20 \times 0.4536 \times 75 \times 4.186)/1.8 = \underline{1582.3\ kJ}$

Comments **الملاحظات**

It is clear from the example that the line method for converting units can include physical equations that include multiplication and division.

يتضح من المثال ان طريقة الخطوط لتحويل الوحدات يمكن ان تشمل المعادلات الفيزيائية التي تضم الضرب والقسمة.

Example 1.16 **المثال 1.16**

A beaker holds 0.5 kg of hydrochloric acid,

دورق زجاجي يحتوي على 0.5 كغم من حامض الهيدروكلوريك،

(a) How many gmols of the acid are in the beaker?

(b) How many lb-mols of the acid are in the beaker?

(أ) ما عدد المولات بوحدات (gmols) من الحامض في الدورق؟

(ب) ما عدد المولات بوحدات (lb-mol) من الحامض في الدورق؟

$MW_{Hcl} = 36.5\ g/\ gmol = 36.5\ lb_m/lb\text{-}mol$

Solution **الحل**

(a) (أ)

0.5 kg	10^3 g	1 g-mol (Hcl)
	kg	36.5 g

= $\underline{13.698}$

(b)

(ب)

0.5 ~~kg~~	2.2046 ~~lb_m~~	lb-mol	=	<u>0.03 lb-mol</u>
	~~kg~~	36.5 ~~lb_m~~		

Comments

We can also convert mass in the required units to moles by dividing mass by molecular weight.

الملاحظات

يمكننا ايضاً تحويل الكتلة بالوحدات المطلوبة إلى عدد المولات عن طريق قسمة الكتلة على الوزن الجزيئي.

Exercise

تمرين

(a) Use the lines method to convert the following

(أ) انجز التحويلات التالية مستخدماً طريقة الخطوط

Weight of 50 lb_f to kN, power of 10 kW-h to HP, flow rate of 1.2 m^3/s to lb_m/min, speed of 60 milies/hr to m/s, 2 kmol to lbmol, liquid head of 50 cm of mercury to kPa.

(b) The Reynolds number Re is defined as

(ب) يُعرف رقم رينولز (Re) بموجب المعادلة التالية

$$Re = \frac{\rho\, d\, u}{\mu}$$

Where ρ in (kg/m^3) is the density of a liquid running in a pipeline, d is the diameter of the pipe in (m) and u is the velocity of the liquid in (m/s). Demonstrate that the Reynolds number Re is **dimensionless group** without units.

حيث ρ هي كثافة السائل بوحدات (kg/m^3) الذي يجري في انبوب معين، d هو قطر الأنبوب بـوحدات (m) و u هي سرعة السائل بـالوحدات (m/s) .

برهن على أن رقم رينولدز (Re) **هو مجموعة غير بعدية** بدون وحدات.

(c) The ideal gas law is

(ج) يُكتب قانون الغازات بالصيغة

$$P.V = m.\ R.\ T$$

Calculate the value of the gas constant R in (kJ/kgK) for 200 g of air kept in a closed vessel of volume 1.9 ft^3 under a pressure and temperature of 320 kPa and 300 K respectively.

احسب قيمة ثابت الغاز R بـوحدات (kJ/kgK) لكتلة من الهواء مقدارها (200 g) محفوظة في وعاء مغلق حجمه (1.9 ft^3) تحت ضغط قدره (320 kPa) و درجة حرارة تساوي (300 K).

1.11 Dimensions

We mentioned earlier that there are seven fundamental physical quantities in engineering measurements. These are: Length, Time, Mass, Temperature, Electric current, Number of Moles and Luminous intensity. The SI units of Length, Time, Mass and Temperature are meter (m), second (s), kg and °C or K respectively. The four physical quantities are in fact considered as base **dimensions** having the symbols **[L], [T], [M]** and **[θ]**. Physical properties and derived physical quantities are therefore defined by base dimensions. For example, the dimensional expression of velocity is written $\frac{[L]}{[T]}$ or $L\ T^{-1}$, and that for density is $M\ L^{-3}$. Accordingly, the dimension of a physical quantity *is the power to which the fundamental quantities ($M^a\ L^b\ T^c$) are raised to define the physical quantity*; for velocity a =1, b = 0, c -1.

1.11 الابعاد

كنا قد ذكرنا بأن هناك سبع كميات فيزيائية أساسية في القياسات الهندسية، وهي: الطول والزمن والكتلة ودرجة الحرارة والتيار الكهربائي وعدد المولات وشدة الإضاءة. وان وحدات الطول والزمن والكتلة ودرجة الحرارة بنظام (SI) هي المتر (m) والثانية (s) والكيلوغرام (kg) ودرجة الحرارة المؤية (°C) او الكلفن (K) على التوالي. وفي واقع الحال، تُعد الكميات الاساسية الاربعة **ابعاداً** اساسية يرمز لها **[L]** و**[T]** و**[M]** و **[θ]**. واستنادا الى الابعاد الاساسية يمكن تعريف الخواص والكميات الفيزيائية المشتقة, مثلا تصبح ابعاد السرعة $\frac{[L]}{[T]}$ او $L\ T^{-1}$، وابعاد الكثافة $M\ L^{-3}$. وبناء على ذلك، فإن بُعد الكمية الفيزيائية هو *الاس التي ترتفع إليها الكميات الأساسية ($M^a\ L^b\ T^c$) لتعريف الكمية الفيزيائية*، وفيما يخص السرعة يكون (a =1, b = 0, c -1)

1.11.1 Dimensional Homogeneity

All physical equations, similar to the ideal gas law, must be **dimensionally homogeneous**. This means that every term of the equation has the same dimensions. Let's check the ideal gas law,

1.11.1 التجانس البعدي

يجب ان تكون جميع المعادلات الفيزيائية المماثلة لقانون الغاز المثالي **متجانسة الأبعاد**. وهذا يعني ان كل حد في المعادلة له نفس الابعاد. دعونا نتحقق من قانون الغاز المثالي،

$$PV = m.R.T$$

Units of the left hand side term are

وحدات الجانب الايسر هي

$$Pa\ m^3$$

Units of the right hand side are

ووحدات الجانب الايمن,

$$kg\ (J/kg\ K)\ K$$

The pressure is Force per unit area, thus the Pascal Pa is equal to the units of force divided by area,

الضغط هو القوة لكل وحدة مساحة، وبالتالي فإن الباسكال (Pa) يساوي وحدات القوة مقسومة على المساحة،

$$Pa = N/m^2$$

According to Newton's law (F = m.a), the Newton N is equal to the units of mass multiplied by units of acceleration (kg x (m/s^2)

وفقًا لقانون نيوتن (F = m.a) فإن وحدة النيوتن (N) تساوي وحدات الكتلة مضروبة بوحدات التعجيل .(kg x (m/s^2))

$Pa = N/m^2$

$Pa = kg \times (m/s^2)/m^2$

$Pa = kg \,.\, s^{-2}.m^{-1}$ (the basic units of pressure الوحدات الاساسية للضغط)

Substitution for quantities in the gas law وبالتعويض عن الكميات الاساسية

(PV = mRT)

$(kg \,.\, s^{-2}.\, m^{-1}) \times m^3 = kg \,.\, (J/kg\,K) \,.\, K$

$J = N \,.\, m = kg \times (m/s^2) \times m = kg \,.\, m^2 \,.\, s^{-2}$

Thus: اذن:

$(kg \,.\, s^{-2}.\, m^{-1}) \times m^3 = kg\,(kg \,.\, m^2.\, s^{-2})/kg\,K) \,.\, K$

$\underline{m^2\, s^{-2} = m^2\, s^{-2}}$

So we find the units on the right hand side are the same as those on the left hand side. let us now substitute the dimensions corresponding to the units,

وهكذا نجد وحدات الجانب الأيمن هي نفس الوحدات الموجودة على الجانب الأيسر. نعوض الآن بالابعاد التي تخص الوحدات،

$$[L]^{-2}\,[T]^2 = [L]^{-2}\,[T]^2$$

Since, the equation has the same dimensions on both sides; it is a dimensionally homogeneous equation.

ولما كانت المعادلة تتخذ نفس الأبعاد في كلا الطرفين، لذا فهي معادلة متجانسة الأبعاد.

Exercise **تمرين**

Show that each term of the enthalpy definition equation has the same dimensions.

برهن على أن كل حد من معادلة تعريف الانثالبي (H) له نفس الأبعاد.

$$H = U + PV$$

H = Enthalpy in kJ
U = Internal energy in kJ
P = Pressure in kPa
V = Volume in m^3

H = الانثالبي بوحدات (kJ)
U = الطاقة الداخلية بوحدات (kJ)
P = الضغط بوحدات (kPa)
V = الحجم بوحدات (m^3)

1.11.2 Dimensionless groups

Some empirical equations are made up of groups with no dimensions known as **dimensionless groups**, such as the Reynolds Number $\left(\frac{\rho du}{\mu}\right)$. Substituting for the dimensions of density ρ, diameter d, velocity u and viscosity μ , the dimensions of the numerator and denominator get cancelled and we obtain the non-dimensional group. The Reynolds Number value determines the type of fluid flow through a pipes and conduits, it is one of the important parameters in the analysis of fluid flow. There are a number of useful non-dimensional groups in the field of fluid mechanics. In heat transfer, there are also some important dimensionless groups such as the Prandtl number (P_r) and Nusselt number (Nu). Equations made up of these groups are common to determine the convective heat transfer coefficient h, for example

1.11.2 المجموعات غير البعدية

تتألف بعض المعادلات التجريبية من مجموعات لا تمتلك ابعاداً تسمى **مجموعات غير بعدية** مثل مجموعة رقم رينولدز ($\frac{\rho du}{\mu}$). فعندما نعوض بابعاد الكثافة ρ وقطر الانبوب d وسرعة جريان المائع u مقسومة على لزوجة المائع μ تختزل الابعاد في البسط والمقام ونحصل على المجموعة غير البعدية. ان قيمة رقم رينولدز تحدد نمط جريان المائع في الانابيب والقنوات، وهي واحدة من المجموعات غير البعدية المهمة في تحليلات جريان الموائع. وهناك عدد من المجموعات غير البعدية التي تشكل علاقات ومعادلات مفيدة في دراسة ظواهر ميكانيك الموائع. وتوجد ايضاً مجموعات غير بعدية مهمة في مجال انتقال الحرارة مثل رقم برانتل (P_r) ورقم نسلت (Nu)، حيث تُستخدم المعادلات المركبة من هذه المجموعات في تحديد قيم معامل انتقال الحرارة بواسطة الحمل الحراري (h)، فعلى سبيل المثال، لدينا المعادلتين

$$Nu_x = 0.332\, Re_x^{1/2}\, Pr^{1/3}$$

$$\frac{h_x\ x}{k} = 0.332 \left(\frac{\rho\, x\, u}{\mu}\right)^{1/2} \left(\frac{C_p\ .\ \mu}{k}\right)^{1/3}$$

h_x = Heat transfer coefficient in W/m².K
x = Distance in m
k = Thermal conductivity of the fluid in W/m.K
ρ = Density of fluid in kg/m³
u = velocity of the fluid in m/s
μ = Viscosity of the fluid in N.s/m²
C_p = Specific heat of fluid in J/kg.K

h_x = معامل انتقال الحرارة بوحدات (W/m².K)
x = المسافة بوحدات (m)
k = الموصلية الحرارية للمائع بوحدات (W/m.K)
ρ = كثافة المائع بوحدات (kg/m³)
u = سرعة جريان المائع بوحدات (m/s)
μ = لزوجة المائع بوحدات (μ)
C_p = الحرارة النوعية للمائع بوحدات (J/kg.K)

Exercise

Replace units with dimensions to show that each term is a non-dimensional group in the above two empirical equations.

تمرين

استبدل الوحدات بالأبعاد لتوضيح أن كل حد هو عبارة عن مجموعة غيربعدية في المعادلتين التجريبيتين اعلاه.

Review Questions and Problems

اسئلة المراجعة والمسائل

P_o = 101.325 kPa, g = 9.81 m/s^2, ρ_{water} = 10^3 kg/m^3, you may find molecular weights from literature

Basic concepts and definitions

1.1 Write about the significance of chemical engineering in industry.

1.2 What are the jobs held by a chemical engineer?

1.3 1.3 Explain why in the past, the job of a chemical engineer required the expertise of mechanical engineers, chemistry specialists and control experts.

1.4 Visit a local factory and sketch a block diagram for the factory. What are the processing units that make up the production line? Explain briefly each unit operation of the industrial site.

1.5 What is the difference between process flow diagrams (PFD) and piping and instrumentation diagrams (P&I)? Sketch a typical PFD for one major processing unit in a sugar factory.

1.6 Write what an assay about industrial distillation. Use information available in chemical engineering sources, including the Internet.

1.7 What are the common measurement parameters in the field of chemical engineering?

1.8 Discuss the significance of process variables in chemical engineering calculations.

1.9 What is the difference between mass and weight?

المفاهيم والتعريفات الاساسية

1.1 اكتب ما تعرفه عن اهمية الهندسة الكيميائية في المجال الصناعي.

1.2 ما هي الوظائف التي يشغلها المهندس الكيميائي؟

1.3 اشرح لماذا كانت في الماضي وظيفة المهندس الكيميائي تتطلب خبرة المهندسين الميكانيكيين ومتخصصي الكيمياء وخبراء السيطرة والتحكم.

1.4 قم بزيارة مصنع محلي وارسم مخططًا يوضح المراحل الرئيسية للمصنع. ماهي الوحدات الصناعية التي تشكل خط الانتاج؟ اكتب شرحاً مختصراً عن كل وحدة من وحدات العمليات صناعية في الموقع الصناعي.

1.5 ما الفرق بين مخططات انسياب العمليات الصناعية (PFD) ومخططات الأنابيب والآلات الدقيقة (P&I)؟ قم برسم مخطط (PFD) نموذجي لوحدة تصنيع رئيسية من وحدات معمل للسكر.

1.6 اكتب ما تعرفه عن التقطير الصناعي. استعين بالمعلومات المتوفرة في مصادر الهندسة الكيميائية بما في ذلك الانترنت.

1.7 ماهي مَعلَمات القياس الشائعة في مجال الهندسة الكيميائية؟

1.8 ناقش أهمية متغيرات الوحدات الصناعية في حسابات الهندسة الكيميائية.

1.9 ما الفرق بين الكتلة والوزن؟

1.10 Define density; what is the relationship between density and specific volume?

1.10 عرف الكثافة، وماهي العلاقة بين الكثافة والحجم النوعي؟

1.11 If the specific gravity of sulphuric acid is 1.84, what is the density of the acid?

1.11 اذا علمت ان الثقل النوعي لحامض الكبريتيك (1.84)، فما هي كثافته؟

1.12 Define molecular weight; what are the units of the molecular weight.

1.12 عرف الوزن الجزيئي؛ ما هي وحداته؟

1.13 Write the chemical formula and find the molecular weight for the following materials: Sodium chloride, Copper, Ammonium nitrate, Acetic acid, Ammonia, Propyl alcohol, Butane, Chlorine, Hydrogen, Sulphur dioxide.

1.13 أكتب الصيغة الكيميائية وأوجد الوزن الجزيئي للمواد التالية: كلوريد الصوديوم، النحاس، نترات الأمونيوم، حامض الخليك، الأمونيا، الكحول البروبيلي، البيوتان، الكلور، الهايدروجين، ثاني أوكسيد الكبريت.

1.14 What is the difference between kmol and lb.mol?

1.14 ما الفرق بين (kmol) و (lb.mol)؟

Process calculations

حسابات تخص العمليات الصناعية

1.15 Determine the number of kmols for 1.23 kg of water.

1.15 احسب عدد المولات بوحدات (kmols) لكتلة من الماء مقدارها (1.23 kg).

1.16 A spherical storage vessel is full of liquefied butane. If the diameter of the vessel is 3.5 m and the specific gravity of liquid butane is 0.625, determine the number of kmols and the weight of the butane.

1.16 وعاء تخزين كروي الشكل مملوء بالبيوتان المسال. فإذا كان قطر الوعاء (3.5 m) والثقل النوعي للبيوتان السائل 0.625، أوجد عدد المولات (kmols) ووزن البيوتان

1.17 A petroleum liquid of specific gravity 0.87 flows in a pipe line of 15 cm diameter at a velocity of 1.6 m/s. Determine the mass flow rate of the liquid.

1.17 يجري سائل بترولي كثافته النوعية 0.87 في خط أنابيب قطره (15 cm) بسرعة مقدارها (1.6 m/s)، احسب معدل الجريان الكتلي للسائل.

1.18 An oil refinery is 50 km away from the production site. It is supplied with crude oil through a 300 mm diameter pipeline. How many US barrels of crude oil are needed to fill the pipeline?

1.18 تبعد مصفاة نفط مسافة 50 كم عن موقع الإنتاج. يتم تجهيز المصفى بالنفط الخام بواسطة انبوب قطره (300 mm)، فما عدد براميل النفط الخام الأمريكية (US barrels) اللازمة لملء الانبوب؟

Ans. 22,230.695 US barrels الجواب

1.19 Steam is flowing in a 35 cm diameter pipeline at a rate of 18 kg/h. Determine the velocity of the steam in m/s inside the pipeline. Take the specific volume of steam to be 0.46 m^3/kg.

1.19 يتدفق بخار الماء في خط أنابيب قطره 35 سم بمعدل 18 كغم/ساعة. حدد سرعة البخار في خط الأنابيب بوحدات متر/ساعة. اتخذ قيمة الحجم النوعي للبخار (0.46 m^3/kg).

Ans. 0.0239 m/s الجواب

1.20 A mixture of methyl acetate and methanol contains 80% of methyl acetate by weight. How many moles (kmols) of methanol are in the mixture?

1.20 خليط من أسيتات الميثيل والميثانول يحتوي على 80٪ من أسيتات الميثيل كنسبة وزنية. ما عدد المولات (kmols) من الميثانول الموجودة في الخليط؟

1.21 An aqueous solution of sodium hydroxide has a molarity of 1M, is supplied to a chemical plant at the rate of1.32 m^3/min. Calculate (a) the concentration of the sodium hydroxide in kg/m^3? (b) The mass flow Rate of sodium hydroxide in the solution in kg/s.

Note: You need the value of the molecular weight of NaOH; find it from relevant sources.

1.21 يتم تجهيز محلول مائي من هايدروكسيد الصوديوم بمولارتي مقدارها (1M) إلى مصنع كيميائي بمعدل (1.32 m^3/min). احسب (أ) تركيز هايدروكسيد الصوديوم بوحدات (kg/m^3)؟ (ب) معدل الجريان الكتلي لهايدروكسيد الصوديوم في المحلول بالوحدات (kg/s).

ملاحظة: تحتاج قيمة الوزن الجزيئي لمادة هايدروكسيد الصوديوم (NaOH), اوجد ها من المصادر ذات الصلة.

Ans. (a) 40 kg/m^3 , (b) 0.88 kg/s

1.22 Estimate the absolute pressure due to 10^3 cm of water head.

1.22 قدر قيمة الضغط المطلق الناتج عن عمود من الماء ارتفاعه 10^3 سم.

1.23 If the gauge pressure reads 45 kPa, what type of pressure is it? What is the absolute value for the pressure?

1.23 ذا كانت قراءة مقياس الضغط 45 كيلو باسكال، فما هو نوع الضغط؟ وما هي قيمته المطلقة؟

1.24 Mercury in glass U tube manometer reads pressure difference of 12 cm, what is the pressure in MPa? What would be the gauge pressure?

1.24 يقرأ مانومتر زئيقي على هيئة حرف U فرق ضغط مقداره 12 سم، ما هو مقدار الضغط بوحدات الميغاباسكال (MPa)؟ وماذا ستكون قيمة ضغط المقياس؟

ρ_{Hg} = 13.6 g/cm^3

1.25 A measuring cylinder contains 10 cm of water and 12 cm of crude oil with specific gravity of 0.91. If the diameter of the cylinder is 5 cm, calculate the force acting on the bottom of the cylinder.

1.25 تحتوي اسطوانة قياس على 10 سم من الماء و12 سم من النفط الخام ثقله النوعي 0.91. فإذا كان قطر االوعاء 5 سم، احسب القوة المؤثرة في قاع الأسطوانة.

1.26 The density of sea water is 1.03 g/cm^3, what will be the pressure that a diver is subjected to at a depth of 20m? Compare the value to pressure developed at the same depth in fresh water.

1.26 اذا علمت ان كثافة ماء البحر تساوي (1.03 g/cm^3) ، فما الضغط الذي يتعرض له الغواص على عمق 20 م؟ قارن القيمة بالضغط الناتج عن نفس العمق في المياه العذبة.

1.27 A closed cylindrical vessel contains 1.5 m of water, and 5 m of diesel. The diesel is maintained by a layer of nitrogen at an absolute pressure of 3 atm. The specific gravity of diesel is 0.85. What will be the reading of a pressure gauge fixed near the bottom of the vessel?

1.27 وعاء أسطواني مغلق يحتوي على 1.5 م من الماء، و5 م من الديزل. يتم الحفاظ على الديزل بواسطة طبقة من غازالنايتروجين بضغط مطلق مقداره (3 atm). اذا كان الثقل النوعي للديزل بحدود 0.85، فما هي قراءة مقياس الضغط المثبت بالقرب من قاع الوعاء؟

Ans. 259.057 kPa الجواب

1.28 If the cost of electrical power is $ 0.32 per kW.h, calculate the electric monthly bill for 1500-W air conditioning unit that runs for 9 h per day. What is the monthly consumption of power by the unit in Btu?

1.28 اذا كانت تكلفة الطاقة الكهربائية 0.32 دولار لكل كيلوواط-ساعة (kW.h)، فاحسب الفاتورة الكهربائية الشهرية لوحدة تكييف ذات قدرة تساوي (1500-W) تعمل لمدة 9 ساعات يوميًا. ما هو الاستهلاك الشهري للطاقة الكهرباء بوحدات (Btu)؟

Note: 1500 W means the AC unit consumes 1.5 kW of power (energy per unit time kJ/s).

kW.h = kilowatts x hours of consumption.

ملاحظة : 1500 واط تعني أن وحدة التكييف تستهلك 1.5 كيلو واط (1.5 kW) من القدرة (اي الطاقة لوحدة الزمن (kJ/s).

كيلوواط-ساعة (kW.h) = الكيلوواط × ساعات الاستهلاك.

kW.h = kW x hours

Ans. $129.6, 1381916.7 Btu الجواب

Unit conversions

تحويل الوحدات

1.29 Perform unit conversion for the following quantities using the lines method.

1.29 حول وحدات الكميات التالية مستخدماً طريقة الخطوط.

54 miles to km, 125°C to °R , 3000°F to K , 2 bar to psia,
20 mm Hg to kPa , 500 psia to atm , 3 atm to psia ,
900 kN/m^2 to lb$_f$/ft^2, 150 cal to Btu , 230 kJ to cal , 10 hp to kW.

!.30 The flow velocity of gasoline in pipeline of 6 in diameter is 20 ft/s. Calculate the mass flow rate in kg/min.

1.30 اذا كانت سرعة جريان مادة الكازولين في انبوب قطره (6 in) تساوي (20 ft/s), احسب معدل الجريان الكتلي بالوحدات (kg/min).

SG = 0.63

1.31 If your home requires 120 US gal of water per day for each person, and the maximum flow rate through the tap is 9 US gal per minute. How long does it take to fill a tank of water for 5 persons?

1.31 اذا كان منزلك يتطلب 120 غالونًا أمريكيًا (US gal) من الماء يوميًا لكل شخص، ويبلغ الحد الأقصى لمعدل الجريان عبر الصنبور 9 غالوناً أمريكياً في الدقيقة. كم من الوقت يستغرق ملء خزان ماء لخمسة اشخاص.

Ans. 1.11 h الجواب

1.32 A chemical plant is supplied with sulphuric acid through a 4 cm pipeline at a flow rate of 1.2 L/s. Determine: (a) the velocity in ft/s and (b) the flow rate in kmol/s.

1.32 يُجهز احد المصانع الكيميائية بحامض الكبريتيك من خلال انبوب قطره (4 cm) بمعدل جريان مقداره (1.2 L/s). أوجد (أ) سرعة الجريان بالوحدات (ft/s) و (ب) معدل الجريان بالوحدات (kmol/s).

$SG_{acid} = 1.8$, $M_{acid} = 98$

1.33 A gas mixture has the following gmol composition

1.33يتكون خليط غازات من التركيبة المولية التالية (gmol)

79.4 % N_2, 12.5% CO_2, 5.5% O_2, 2.6% SO_2

The gas is scrubbed by a cold solution of sodium sulphite to remove the sulphur dioxide completely. What is the mole composition of the remaining gas mixture?

فإذا تم غسل الغاز باستخدام محلول بارد من كبريتيت الصوديوم لازالة غاز ثاني اوكسيد الكبريت بشكل كامل، فما التركيب المولي لخليط الغاز المتبقي؟

Ans. 81.51% N_2, 12.83% CO_2, 5.64% O_2 الجواب

1.34 The mass composition of a gas mixture is 76.69% N_2 and 23.31% O_2. Determine the mole composition of the mixture. Calculate the average molecular weight for the gas mixture in lb_m/lb-mol. Use molecular weights from Internet.

1.34 اذا علمت ان التركيب الكتلي لخليط من الغازات هو 76.69% N_2 و 23.31% O_2. قم بتحديد نسب مكونات الخليط المولية. احسب متوسط الوزن الجزيئي لخليط الغاز بـوحدات lb_m/lb-mol. استخدم الأوزان الجزيئية المتوفرة في الإنترنت.

Note: Molecular weight has the same numerical value in all unit systems.

ملاحظة: الوزن الجزيئي يتخذ نفس القيمة العددية في جميع انظمة الوحدات.

1.35 What is the pressure in kPa at a depth of 50 ft in a river? The atmospheric pressure is 10.39 m of H_2O, the density of water is 62.4 lb_m/ft^3 and g = 9.81 m/s^2.

1.35 ما هي قيمة الضغط بوحدات (kPa) على عمق 50 قدم في النهر؟ علماً ان الضغط الجوي يعادل 10.39 متراً من الماء (m of H_2O) وكثافة الماء تساوي (62.4 lb_m/ft^3) والتعجيل الجاذبي ($9.81\ m/s^2$).

Ans. 251.432 kPa الجواب

1.36 A tightly closed container of volume 20 m^3 is full of a solution of hydraulic acid. What will be the pressure in kPa at a depth of 12.5 ft? If the diameter of the vessel is 4 m, determine the pressure acting at the bottom of the vessel in psia.

1.36 حاوية مغلقة بإحكام، حجمها (20 m^3) مملوءة بمحلول حامض الهايدروليك. ما هو الضغط بوحدات (kPa) على عمق (12.5 ft)؟ إذا كان قطر الوعاء يساوي 4 متر، أوجد الضغط المؤثر في قاع الوعاء بالوحدات (psia).

$$SG_{HCl} = 1.18$$

1.37 If a manometer connected across an orifice plate reads 6-in of mercury, calculate the pressure drop a cross the plate in lb_f/in^2 (psi)? Given:

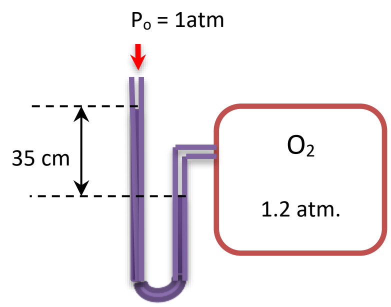
1.37 إذا كان المانومتر المتصل عبر صفيحة مثقوبة يقرأ (6-in) من الزئبق، احسب انخفاض الضغط عبر الصفيحة بالوحدات (lb_f/in^2) او (psi)؟ المعلوم:

$$\rho_{Hg} = 13.6 \text{ g/cm}^3$$

$$-\Delta P\ (lb/ft^2) = h\ (ft) \times \rho\ (lb_f/ft^3) \times g\ (ft^2/s^2)$$

1.38 A manometer attached to a vessel containing oxygen reads 15 cm of liquid. If the pressure inside the vessel is 1.2 atm, calculate the specific gravity of the manometer liquid.

1.38 اذا كانت قراءة المانومتر المتصل بوعاء يحتوي على الأوكسجين 35 سم من السائل، كما هو مبين في الشكل ادناه؛ وكان الضغط داخل الوعاء يساوي (1.2 atm)، احسب الثقل النوعي للسائل في المانومتر.



Ans. 5.902 الجواب

1.39 The amount of heat stored in a solid sphere is given by

1.39 تُقدر كمية الحرارة المخزنة في جسم صلب (q) بواسطة المعادلة التالية

$$q\ (kJ) = m\ (kg)\ .\ C_P\ (kJ/kg\ K)\ .\ \Delta T\ (K)$$

Calculate the amount of heat in kJ stored in 3 cm diameter steel ball heated from 50°C to 120°C.

احسب كمية الحرارة بوحدات (kJ) المخزنة في كرة فولاذية قطرها 3 سم تم تسخينها من 50 درجة مئوية إلى 120 درجة مئوية.

Information:

المعطيات:

Density of steel = 500 lb_m/ft^3, Specific heat capacity = 420 J/kgK

Ans. 950.88 J الجواب

1.40 An air conditioning unit delevires 1 ton of refrigeration, what will be the electrical energy consumption for 5 hours in kw-h?.

1.40 توفر احدى وحدات تكييف الهواء 1 طن من التبريد (1 tons)، فما هو استهلاك الطاقة الكهربائية لمدة 5 ساعات بالكيلوواط-ساعة (kw-h)؟.

Ans. 17.584 kW-h الجواب

1.41 One of the **empirical equations** in SI units for convective heat transfer for fluid flow inside pipes is expressed as

1.41 تُكتب إحدى **المعادلات التجريبية** لانتقال الحرارة بالحمل نتيجة جريان السوائل داخل الأنابيب بوحدات (SI) على النحو التالي

$$Nu = 0.023\ Re^{0.8}\ Pr^{1/3}$$

(a) Search the Internet for the formulae of Nusselt number Nu, Reynolds number Re and Prandtle number P_r.
(b) Show that the two sides of the equation are dimensionally consistent.
(c) Convert the equation to foot, pound and seconds.

(أ) ابحث في الإنترنت عن الصيغ الرياضية لكل من رقم نسلت (Nu) ورقم رينولدز (Re) ورقم براندتل (Pr).
(ب) برهن على أن طرفي المعادلة متناسقان في الأبعاد.
(ج) قم بتحويل وحدات المعادلة إلى القدم والباوند والثانية.

Chapter 2 **الفصل الثاني**

Material Balance Principles مبادئ موازنة المادة

In Chapter 2, we cover the principles of material balances starting with the some relevant definitions. The law of conservation of mass is then explained and applied to a typical material balance problems. We also review the setting up of flow charts for industrial processes. After explaining the steps to conduct a material balance, we present balances for some industrial unit operations including crystallization, distillation and absorption.

نتناول في الفصل الثاني مبادئ موازنة المادة بدءاً ببعض التعريفات ذات الصلة، ثم شرح قانون حفظ الكتلة وتطبيقه في حل مسائل موازنة المادة. نقوم ايضاً بتوضيح طريقة إعداد مخططات البيانات الانسيابية للعمليات الصناعية. وبعد شرح خطوات إجراء موازنة المواد نتطرق الى موازنات تخص بعض عمليات الوحدات الصناعية كالتبلور والتقطير والامتصاص.

2.0 Learning Objectives of Chapter 2

- Introduce the concept of a material balance
- Discuss the law of conservation of mass
- Set up flow charts
- Explain the concept and steps to conduct material balance
- Conduct material balance for some unit operations
- Solve examples regarding material balances for mixing, drying, crystallization, distillation, absorption and evaporation

2.0 اهداف دراسة الفصل الثاني

- التعرف على مفهوم موازنة المادة
- مناقشة قانون حفظ الكتله
- اعداد مخططات البيانات الانسيابية
- شرح مبادىء وخطوات اجراء موازنة المادة
- اجراء موازنات المادة لبعض العمليات الصناعية
- حل أمثلة تتعلق بموازنة المادة لعمليات الخلط والتجفيف والتبلور والتقطير والامتصاص والتبخير

2.1 Introduction to Material Balance

In process design, the first major task for the chemical engineer is to set up a **process flow chart** for the plant. The flow chart indicates information about flow of material through the successive equipment of the processing plant. The data include flow rates and possibly the composition of materials in each process **stream**. A flow chart can be based on the **process block diagram** (PBD), for example the schematic below shows a block representing mixing two liquids A and B as part of a flow chart.

2.1 مقدمة عن موازنة المادة

ان أول مهمة رئيسية للمهندس الكيميائي في تصميم العمليات الصناعية هي إعداد **مخطط البيانات الانسيابي للمصنع**. توضح هذه المخططات معلومات عن تدفق المواد عبر المعدات المتعاقبة في المصنع. وتشمل البيانات قيم معدل الجريان وربما نسب مكونات المواد في كل **مجرى** من مجاري العملية الصناعية. ويمكن استخدام **مخطط مراحل التصنيع** (PBD) كأساس لرسم مخطط البيانات الانسيابية. فعلى سبيل المثال، نلاحظ في الرسم التخطيطي ادناه مربع يمثل عملية خلط سائلين A و B كجزء من مخطط البيانات الانسيابي.

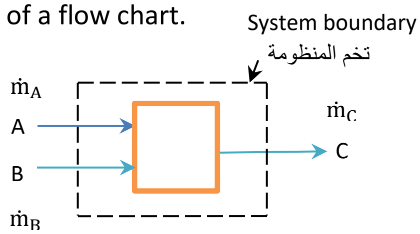


Figure 2.1 Schematic for a flow chart mixing two liquids

الشكل 2.1 رسم تخطيطي لمخطط البيانات الانسيابية لعملية خلط سائلين

The flow chart of Fig 2.1 depicts that liquid A is mixed with liquid B to produce a mixture C, and shows the unknown flow rates of the three **mixer** streams. It also shows that the materials flow continuously through the mixing vessel, thus the process is **continuous.** In addition, there is no accumulation in the mixer, so the process is independent of time, i.e. it is a **steady state process**. In fact, most industrial processes are continuous steady operations. However, producing small quantities of a certain material may not require continuous operation and **batch processing** can be used. In such process, the input materials are fed at the beginning to a vessel, and the products are removed after some time. The process is repeated until the required quantity is achieved. This is an **unsteady state process** which is time- dependent. In fact, the startup of refineries and factories is time dependent; therefore various units go through unsteady state or **transient operation** during this period.

يبين مخطط البيانات الانسيابية في الشكل (2.1) ان السائل A يدخل الخلاط ويختلط مع السائل B لإنتاج الخليط C، كما يوضح قيم معدلات الجريان المجهولة لمجاري **الخلاط** الثلاثة. ويوضح أيضًا أن المواد تتدفق بشكل مستمر عبر وعاء الخلط، لذا تُعد عملية الخلط **عملية مستمرة**. كما يتضح عدم وجود أي تراكم للمادة في الخلاط, وعليه فإن العملية لا تتأثر بمرور الزمن، اي انها **عملية حالة مستقرة**. وفي واقع الحال, ان معظم العمليات الصناعية هي عمليات مستقرة ومستمرة في التشغيل. مع ذلك، فإن إنتاج كميات صغيرة من مادة معينة قد لا يتطلب التشغيل المستمر بل **التصنيع على هيئة الدفعات المتعاقبة**. ففي مثل هذه العملية، يتم تغذية المواد الاولية في البداية إلى وعاء التصنيع، ثم تُزال المنتجات بعد مرور بعض الوقت، وتكرر العملية لحين الحصول على كمية المنتجات المطلوبة. تُعد هذه العملية **عملية حالة غير ستقرة** لانها تتأثر بمرور الزمن. وفي الواقع، يعتمد بدء تشغيل المعامل والمصافي على الزمن، لذا تمر الوحدات المختلفة بحالة غير مستقرة أو بحالة من **التشغيل العابر**.

The flow chart with flow rates of materials in and out of the unit constitutes the first step of conducting material balance. The balance is normally conducted for a **system** within defined **boundary lines**. The boundary lines may include the whole plant, processing unit or single major equipment, as shown in Fig 2.2.

يشكل مخطط البيانات الانسيابية الذي يوضح معدلات الجريان المواد الداخلة والخارجة من وحدة التصنيع الخطوة الاولى لانجاز موازنة المادة. وتُجرى الموازنه عادة **لمنظومة** تصنيع معينة ضمن **خطوط حدودية** مثبتة. وقد تشمل خطوط هذه الحدود المصنع بأكمله او احدى وحدات التصنيع او احدى المعدات الرئيسية، كما هومبين في الشكل (2.2)

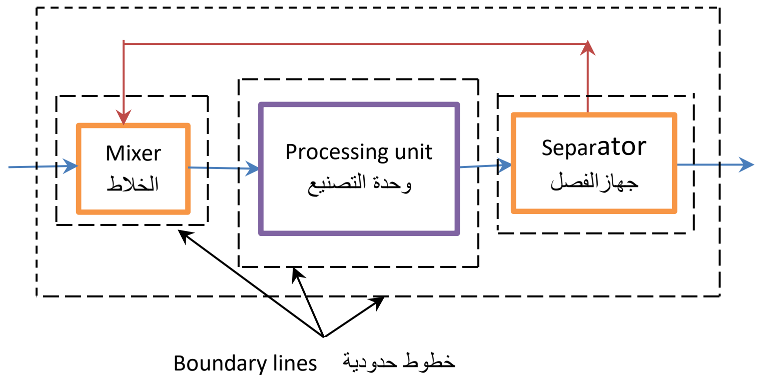


Figure 2.2 Boundary lines around different units

الشكل 2.2 الخطوط الحدودية حول الوحدات المختلفة

2.2 Law of Conservation of Mass

2.2 قانون حفظ الكتلة

The **law of conservation of mass** states that *mass cannot be created or destroyed*. In other words, the total mass of all components of a **closed system** remain constant over time. Thus, the mass of the component before a process is equal to the mass of the component after the process. This is actually the basis of material balances; therefore the general equation for any continuous process at steady state is formulated as follows

ينص **قانون حفظ الكتلة** على أنه *لا يمكن تدمير الكتلة* او خلقها *من العدم*. وبعبارة أخرى، فإن الكتلة الإجمالية لجميع مكونات **المنظومة المغلقة** تبقى ثابتة مع مرور الزمن. وبناء على ذلك، فإن كتلة المكون اومعدل جريانه الكتلي قبل حدوث العملية الصناعية تساوي كتلة المكون او معدل جريانه الكتلي بعد انجاز العملية. وهذا هو في الواقع اساس حسابات موازنة المادة؛ لذلك تُكتب صيغة المعادلة العامة لأي عملية مستمرة في حالة مستقرة على النحو التالي



General material balance equation: المعادلة العامة لموازنة المادة:

Input = Output

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$$

For a component i: وتكتب المعادلة لأي مكون من المكونات (i):

$$\dot{m}_{i,in} = \dot{m}_{i,out} \qquad (2.1)$$

The mass flow rate of component in = mass flow rate or he component out

معدل الجريان الكتلي لاحد المكونات الداخلة = معدل الجريان الكتلي للمكون الخارج

For all components: ولجميع المكونات:

$$\sum(\dot{m}_i)_{in} = \sum(\dot{m}_i)_{out} \qquad (2.2$$

Total mass flow rate flowing in = total mass flow rate flowing out

إجمالي معدل الجريان الكتلي الداخل = إجمالي معدل الجريان الكتلي الخارج

Note: the material balance equation for ***unsteady state*** processes includes a time dependent accumulation term.

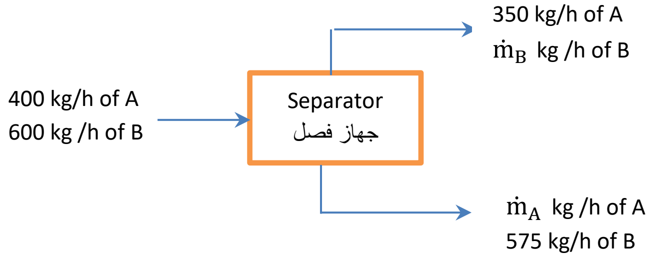
ملاحظة: تتضمن معادلة موازنة المادة لعمليات الحالة ***غير المستقرة*** حداً اضافياً يخص تراكم المادة المعتمد على تغير الزمن.

Example 2.1

المثال 2.1

Data:

المعلومات:



Schematic of the example الرسم التخطيطي للمثال

Determine the flow rates of component B at the top and of A at the bottom. Check the calculations by conducting a **total material balance** for all components.

حدد قيمة معدل جريان المكون B في الأعلى و معدل جريان A في الأسفل. تحقق من صحة الحسابات عن طريق إجراء **موازنة المادة الاجمالية** لجميع المكونات.

Solution

الحل

We first conduct material balance for component A:

نقوم أولاً بإجراء موازنة المادة للمكون A:

$\dot{m}_{i,in} = \dot{m}_{i,out}$ (Eqn. 2.1)

400 kg/h = 350 kg/h + $\dot{m}_A$ kg/h

$\dot{m}_A$ = <u>50 kg/h</u>

We now conduct material balance for component B:

نجري الآن موازنة المادة للمكون B:

(Eqn. 2.1)

;/h

To check the validity of the solution, we conduct a total material balance:

وللتأكد من صحة الحل نقوم بإجراء موازنة مادة اجمالية:

$\sum(\dot{m}_i)_{in} = \sum(\dot{m}_i)_{out}$ (Eqn. 2.2)

400 kg/h + 600 kg/h = 350 kg/h + $\dot{m}_B$ kg/h + $\dot{m}_A$ kg/h + 575 kg/h

1000 kg/h = 350 kg/h + 50 kg/h + 25 kg/h + 575 kg/h = 1000 kg/h

1000 kg/h = 1000 kg/h

The total material balance shows that the total mass input is equal to the total mass output of the separation process. This indicates that the component balance for A and B is correct.

يتضح من موازنة المادة الاجمالية بأن مجمل الكتل الداخلة تساوي مجمل الكتل الخارج لعملية الفصل، وهذا يشير إلى أن الموازنة لكل من المكونات A و B صحيحة.

2.3 Material Balance Flowcharts

2.3 مخططات البيانات الانسيابية لموازنة المادة

A **process flowchart** consists of boxes for the processing units or equipment of the industrial plant. The units have inputs and outputs represented by arrows. Information about the flow of materials are indicated as mass flow rates or molar flow rates, and about the composition as mass or mole fractions.

يتكون **مخطط البيانات الانسيابي للعملية الصناعية** من مربعات تمثل وحدات التصنيع أو المعدات الخاصة بالمنشأة الصناعية. وتحتوي الوحدات على مدخلات ومخرجات ممثلة بالأسهم. ويشار إلى المعلومات المتعلقة بتدفق المادة بمعدل الجريان الكتلي أو معدل االجريان المولية، بينما يشار إلى تركيب المادة بالكسور الكتلية أو الكسور المولية.

Molar flow rates in kmol/s, or any other molar units, are essential for material balances with chemical reactions. Material balances involving gas mixtures are also conveniently dealt with using molar information. The composition of a gas mixture may be given as volume percentage, however, for ideal gases, the volume composition is the same as the molar composition.

تُعد معدلات الجريان المولية بوحدات الكمول/ثانية (kmol/s)، أو أي وحدات مولية أخرى، ضرورية لاجراء موازنات المادة المصحوبة بالتفاعلات الكيميائية. كما ان استخدام المعلومات المولية يسهل التعامل مع الموازنات لخلائط الغازات. وقد يُعطى تركيب خليط الغازات كنسب مئوية حجمية, مع ذلك, تتساوى النسب الحجمية والنسب المولية لخلائط الغازا ت المثالية.

Material balance based on mass can be conducted for most of the unit operations, particularly the physical and mechanical such as filtration, crushing, mixing, while molar or mass balances can be applied to other unit operations.

يمكن إجراء موازنة المادة على أساس الكتلة لمعظم عمليات الوحدات الصناعية، وخاصة العمليات الفيزيائية والميكانيكية مثل الترشيح والتكسير والخلط،، في حين يمكن تطبيق الموازنة المولية أو الكتلية على عمليات الوحدات الصناعية الأخرى.

A three unit flow chart is depicted in Fig 2.3 as a typical industrial process that includes a chemical reactor.

يظهر في الشكل (2.3) مخطط بيانات انسيابي ثلاثي الوحدات لعملية صناعية نموذجية تتضمن مفاعلًا كيميائياً.

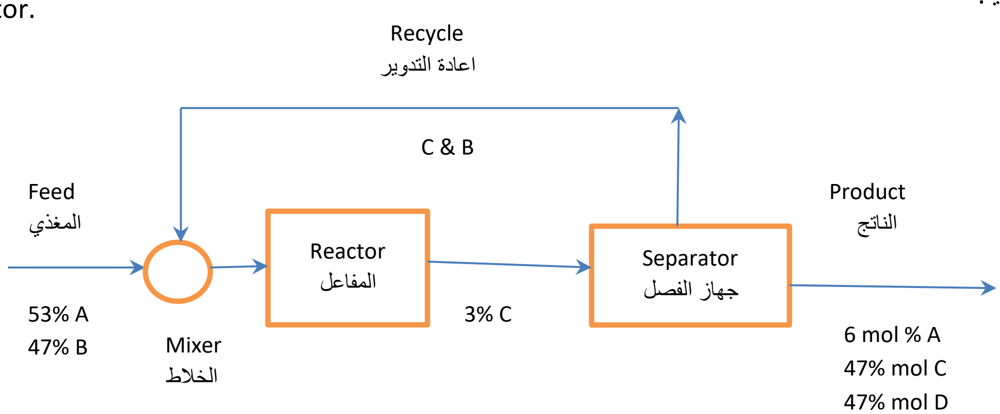


Figure 2.3 Example of a flow chart

الشكل 2.3 مثال يوضح مخطط البيانات الانسيابي

Note: some amounts of components C and B are recycled to the reactor through the mixer. Material balances for **recycle** lines, and for chemical reactors will be covered later.

ملاحظة عملية إعادة تدوير بعض كميات المكونات C و B إلى المفاعل من خلال الخلاط. سوف نتطرق الى موازنات المادة لممرات **إعادة التدوير** وكذلك المفاعلات الكيميائية لاحقاً

2.4 Conducting a Material Balance

2.4 طريقة إجراء موازنة المادة

Step 1 Draw a flow chart for the process.

الخطوة الاولى ارسم مخطط البيانات الانسيابي للعملية الصناعية.

<u>Step 2</u> Write the available information on the flow chart.

<u>Step 3</u> Make sure of units consistency, convert units of flow rate to the same system if required.

<u>Step 4</u> Choosing a **basis** for the calculation. Use the given flow rate or mass as a basis. If mass composition is known, choose 100 kg or 100 kg/h. For molar composition, choose 100 or 1 mole as a basis for calculations

<u>Step 5</u> Write the equations for components and total material balances.

<u>Step 6</u> Solve the material balance equations to determine the unknowns.

2.5 Balances for Unit Operations

We have discussed most of the industrial unit operations in chapter 1. In this section, we will perform material balance for drying crystallisation, distillation and some other unit operations.

2.5.1 Drying

Drying is the removal of moisture from solid materials by heating with hot air. The moisture content can be reduced by mechanical means, such as filtration before it is evaporated by heat inside the dryer. Different types of dryers are used in industry including rotary drum and tray driers. The material balance is based on the flow diagram shown in Fig 2.4.

<u>الخطوة الثانية</u> اكتب المعلومات المتوفرة على مخطط البيانات الانسيابي.

<u>الخطوة الثالثة</u> تأكد من ان وحدات القياس متناسقة، واذا اقتضى الامر، حول وحدات معدل الجريان الى نفس نظام الوحدات لتصبح متجانسة.

<u>الخطوة الرابعة</u> اختيار **الاساس** للحسابات. استخدم معدل الجريان المعلوم او الكتلة كأساس للحسابات. فاذا كان التركيب الكتلي معلوماً، اختر 100 كغم (100 kg) أو 100 كغم/ساعة (100 kg/h)، واختر 100 او 1 مول كأساس للحسابات للتركيب المولي.

<u>الخطوة الخامسة</u> اكتب معادلات موازنة المادة للمكونات ومعادلة موازنة المادة الاجمالية.

<u>الخطوة السادسة</u> قم بحل معادلات موازنة المادة لتحديد القيم المجهولة.

2.5 موازنات تخص الوحدات الصناعية

كنا قد تطرقنا الى معظم عمليات الوحدات الصناعية في الفصل الأول، وفي هذه الفقرة سوف نقوم بإجراء موازنة المادة لعملية لتجفيف وعملية التبلور والتقطير وبعض الوحدات الصناعية الاخرى.

2.5.1 التجفيف

التجفيف هو إزالة الرطوبة من المواد الصلبة عن طريق التسخين بالهواء الساخن. يمكن تقليل محتوى الرطوبة بالوسائل الميكانيكية كالترشيح قبل تبخرها بفعل الحرارة في جهاز التجفيف. هناك أنواع مختلفة من المجففات المستخدمة في المصانع بما في ذلك مجففات الاسطوانة الدوارة والمجففات ذات الصواني. وتستند موازنة المادة الى المخطط الانسيابي الموضح في الشكل (2.4).

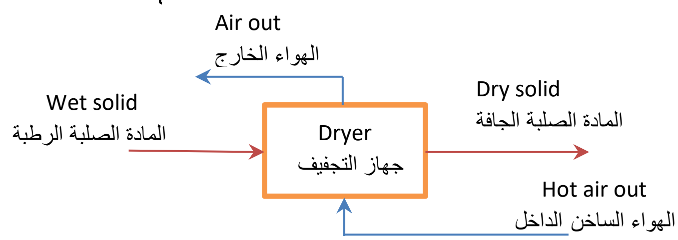


Figure 2.4 Flow diagram for the drying process

الشكل 2.4 المخطط الانسيابي لعملية التجفيف

Material balance equations: معادلات موازنة المادة:

Solids in the feed = Solids in the dried product (2.3)
المواد الصلبة الداخلة = المواد الصلبة المجغغة الخارجة

Moisture in the feed - Moisture in dry product = Moisture in outlet air – Moisture in inlet air (2.4)
الرطوبة في المواد الصلبة الداخلة - الرطوبة في المواد المجففة الخارجة = الرطوبة في الهواء الخارج - الرطوبة في الهواء الداخل

Example 2.2

المثال 2.2

The wet solid feed to a tray drier contains 20% moisture. The moisture content is reduced by heating with hot air to be 1.5% in the dry product. For 2000 kg feed, calculate (a) The mass of the dry solid product and (b) the amount of water removed from the wet solid.

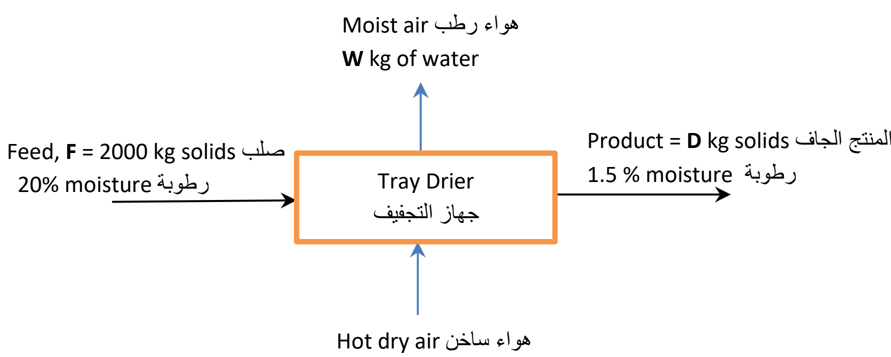
تدخل مادة صلبة رطبة الى مجفف ذو صواني بنسبة رطوبة مقدارها 20%. يتم تقليل الرطوبة عن طريق التسخين بالهواء الساخن لخفضها في المُنتج الجاف الى 1.5%. اذا كانت كتلة المادة الصلبة الداخلة تساوي 2000 كغم، احسب (أ) كتلة المنتج الصلب الجاف و (ب) كمية الماء المستخرج من المادة الصلبة الرطبة.

Solution

الحل

<u>Basis =</u> 2000 kg

<u>الاساس للحسابات</u> = 2000 كغم (2000 kg)



Flow chart for the drying process مخطط البيانات الانسيابي لعملية التجفيف

We choose the mass of the wet solids fed to the dryer (as a basis for the calculations.

نختار كتلة المادة الصلبة الرطبة التي تدخل المجفف كاساس للحسابات.

<u>Basis:</u> 2000 kg

<u>الاساس للحسابات:</u> 2000 كغم

(a)

(أ)

The % solids in the feed:

النسبة المؤية للمواد الصلبة لتي تدخل المجفف:

(100 –20) = 80%

The percentage of solids in the dried product:

نسبة المواد الصلبة في المنتج المجفف:

(100 – 1.5) = 98.5%

We now formulate the balance for the solids as follows:

نضع الآن معادلة موازنة المواد الصلبة بالصيغة التالية:

F x (80 /100) = D x 98.5/100

2000 x 0.8 = D x 0.985

Mass of solids in the dried product D = 1624.365 kg

كتلة المواد الصلبة في المنتج المجفف

(b)

Total balance,

موازنة المادة الاجمالية:

F = D + W

2000 =1624.365 + W

The amount of water removed from the wet solid W = 375.635 kg

كمية الماء المستخرج من المادة الصلبة الرطبة

Comments

الملاحظات

Drying in a **tray drier** is a batch operated process; it is therefore neither continuous nor steady state process.

تُنجزعملية التجفيف في **المجفف ذو الصواني** بوجبات متتالية، وعليه فهي عملية غير مستقرة وغير مستمرة.

Example 2.3

المثال 2.3

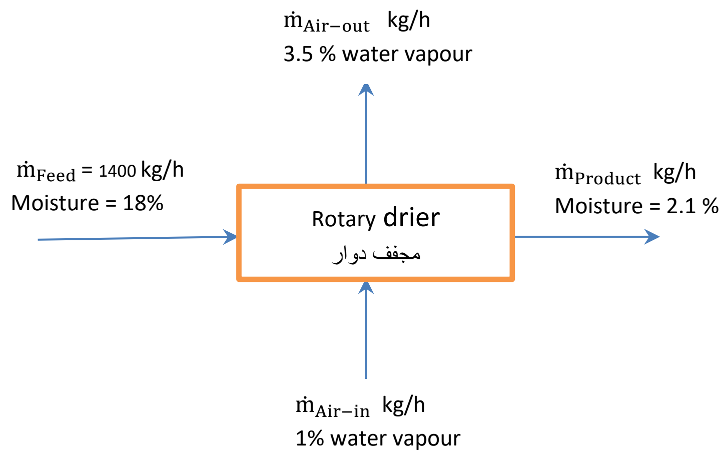
A wet solid material contains 18% moisture is fed continuously to a **rotary dryer** at the rate of 1400 kg/h. The water content is reduced to 2.1% by contact with hot air passing through the dryer. The inlet air contains 1% water vapour, and the air at the exit carries 3.5% vapour. Calculate the mass flow rate of air required for the drying process.

تُغذى مادة صلبة رطبة تحتوي على 18% رطوبة بشكل مستمر إلى **مجفف دوار** بمعدل (1400 kg/h). يُخفض محتوى المادة من الماء إلى 2.1% عن طريق التماس مع هواء ساخن يمر من خلال المجفف. يحتوي الهواء الداخل على 1% من بخار الماء ويحمل الهواء الخارج 3.5% من البخار. احسب معدل الجريان الكتلي للهواء اللازم لعملية التجفيف.

Solution **الحل**

Basis = 1400 kg/h of wet solid material

الاساس للحسابات = (1400 kg/h) من المادة الصلبة



Flow chart for the drying process مخطط البيانات الانسيابي لعملية التجفيف

:

Balance for the solid materials: **موازنة المادة الصلبة:**

Moisture in feed = (18/100) x 1400 = الرطوبة في المادة الداخلة

Moisture in product = (2.1/100) $\dot{m}_{Product}$ = الرطوبة في المادة الخارجة

Wet solid material in – moisture = Dry solid material out – moisture

كمية المادة الصلبة الرطبة الداخلة – الرطوبة = كمية المادة اصلبة المجففة الخارجة – الرظوبة

1400 - (0.18 x 1400) = $\dot{m}_{Product}$ - (0.021 x $\dot{m}_{Product}$ (in kg/h)

$\dot{m}_{Product}$= 1172.625 kg/h

Total balance: **الموازنة الاجمالية:**

$\dot{m}_{Feed} + \dot{m}_{Air-in} = \dot{m}_{Product} + \dot{m}_{Air-out}$

1400 + $\dot{m}_{Air-in}$ = 1172.625 + $\dot{m}_{Air-out}$ (A)

Moisture balance for dryer: **موازنة الرطوبة لجهاز التجفيف:**

1400 x 0.18 + $\dot{m}_{Air-in}$ x 0.01 = 1172.625 x 0.021 + $\dot{m}_{Air-out}$ x 0.035 (B)

Mass flow rate of air required for drying is ($\dot{m}_{Air-out}$), solving equations (A) and (B):

معدل الجريان الكتلي للهواء المطلوب لاتمام عملية التجفيف هو ($\dot{m}_{Air-out}$)، وبحل المعادلتين (A) و(B):

$$252 + (\dot{m}_{Air-out} - 227.375)\ 0.01 = 1172.625 \times 0.021 + \dot{m}_{Air-out} \times 0.035$$

$$252 + 0.01\ x\ \dot{m}_{Air-out} - 2.27375 = 24.625 + 0.035\ \dot{m}_{Air-out}$$

$$\dot{m}_{Air-out} = \underline{9004.05\ kg/h}$$

Comments

Flow rate of air may be given as kmol/h, and the air content of water vapour as volume percentage. We know that mole fraction for ideal gases are the same as volume fraction. In this case it is convenient to change the mass flow rate of the feed to molar flow rate and conduct the material balance in kmols.

الملاحظات

يمكننا اتخاذ معدل جريان الهواء بوحدات الكيلومول/ ساعة (kmol/h) واعتبار نسب محتواه من الماء كنسب حجمية. ونعلم ان الكسر المولي للغازات المثالية يساوي الكسر الحجمي، لذا يمكن في هذه الحالة تغيير معدل الجريان الكتلي للمادة التي تدخل المجفف إلى معدل جريان مولي وإجراء موازنة المادة بدلالة المولات (kmols).

2.5.2 Crystallisation

Crystallisation is the process of producing solid crystals from a solution or melt. Crystallisers may work by vaporisation of the liquid of the mixture to change the concentration of the solute until the solution becomes **super-saturated**. Subsequent cooling reduces the **solubility** of the dissolved solids in the saturated solution leading to the formation of crystals. The process flow diagram for this process is shown in Fig 2.5.

2.5.2 التبلور

التبلور هو عملية إنتاج البلورات الصلبة من محلول معين أو من مادة صلبة منصهرة. وقد تعمل أجهزة التبلور عن طريق تبخير سائل الخليط لتغيير تركيز المذاب حتى يصبح المحلول **مشبعاً للغاية**، وبسبب التبريد اللاحق يتم تقليل **ذائبية** المواد الصلبة في المحلول المشبع مما يؤدي الى تكوين البلورات. يتضح المخطط الانسيابي لهذه العملية الصناعية في الشكل (2.5).

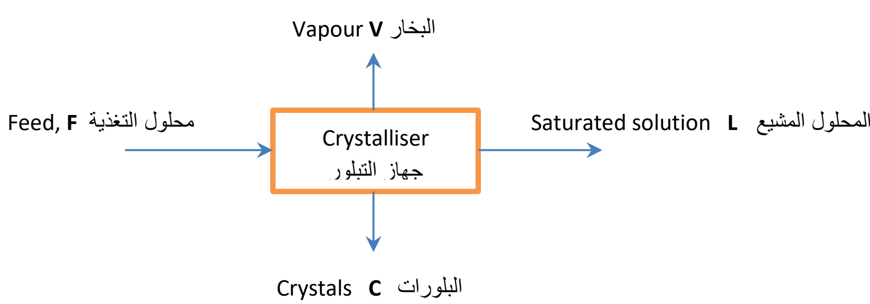


Figure 2.5 Flow diagram for crystallisation **الشكل 2.5** المخطط الانسيابي لعملية التبلور

Total material balance:

موزنة المادة الاجمالية:

$$F = C + L + V \qquad (2.5)$$

Material balance for **solute**:

موازنة المادة **للمذاب** (المادة الصلبة المذابة):

$$F . x_F = L . x_L + C . x_C + V . x_V \qquad (2.6)$$

x is the mass fraction of solids.

يمثل الرمز (x) الكسر الكتلي للمادة الصلبة.

In most of the crystallization problems, the vapour stream can be ignored. It is included if the lost amount of liquid vapour is specified. In the case of ignoring the vapour, the material balance equations are reduced to

نستطيع اهمال مجرى البخار المتصاعد في معظم مسائل التبلور، ويمكن تضمينه في حالة ذكر مقدار بخار السائل المفقود من المنظومة. وفي حالة اهمال البخار تُختصر معادلات موازنة المادة إلى

$$F = C + L \qquad (2.7)$$

$$F . x_F = L . x_L + C . x_C \qquad (2.8)$$

Example 2.4

المثال 2.4

7000 kg of a solution contains 40% solids is fed to a crystallizer. The temperature is reduced to form pure crystals of the solid. If the remaining **saturated solution** contains 36% solids, find the mass of crystals formed.

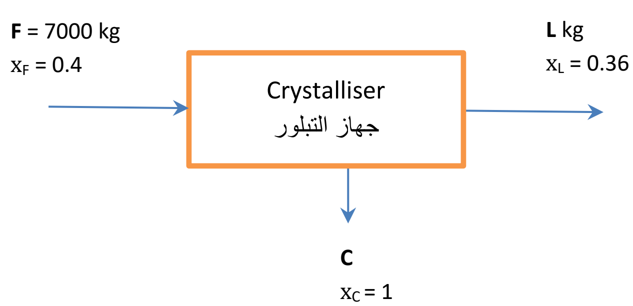
يُغذى 7000 كغم من محلول يحتوي على 40% من المواد الصلبة إلى جهاز تبلور معين، حيث يتم تخفيض درجة الحرارة لغرض تكوين بلورات نقية من المادة الصلبة. اذا كان **المحلول المشبع** المتبقي يحتوي على 36% من المواد الصلبة، اوجد كتلة البلورات المتكونة.

Solution

الحل

Basis: 7000 kg

الاساس للحسابات = 7000 كغم (7000 kg)



Flow chart of the process مخطط البيانات الانسيابي لعملية التبلور

Total material balance: **موازنة المادة الاجمالية:**

$$F = C + L \quad \text{(Eqn. 2.7)}$$

$$700 = C + L \quad \text{(A)}$$

Material balance for the solute: **موازنة المادة للمذاب:**

$$F \cdot x_F = L \cdot x_L + C \cdot x_C \quad \text{(Eqn. 2.8)}$$

$$7000 \times 0.4 = (L \times 0.36) + (C \times 1) \quad \text{(B)}$$

Solving equations A and B: وبحل المعادلتين (A) و (B):

$$7000 \times 0.4 = [(7000 - C)\, 0.36] + C$$

Mass of crystals, C = <u>437.5 kg</u>

Comments

There is no vapour because crystallization is achieved by cooling only. The mass of the remaining saturated solution L is

الملاحظات

لا يوجد بخار لان التبلور ناجم عن التبريد فقط. كتلة المحلول المشبع المتبقي (L) هي

$$F = C + L$$

$$7000 = 437.5 = L$$

$$L = 6562.5 \text{ kg}$$

Exercise

Solve the example for:
$F = 11{,}000$ kg and $x_L = 0.30$.

تمرين

كرر حل المثال مع الاخذ بالاعتبار:
(F = 11,000 kg) و ($x_L = 0.30$)

Example 2.5

المثال 2.5

Sodium of chloride solution at 70°C is cooled to 20°C in a crystallizer. If 230 kg of the solution is fed to the crystalliser, calculate the amount of crystallised salt. given:

يُبرد محلول كلوريد الصوديوم من 70 درجة مئوية إلى 20 درجة مئوية في جهاز للتبلور. اذا كانت كمية المحلول المغذى لجهاز التبلور تساوي 230 كغم، احسب كمية الملح المتبلور. علماً ان المعلوم:

The **solubility** of the salt at 20°C = 360 g salt/L of water

The solubility of the salt at 70° = 400 g of salt/L of water.

الذائبية للملح عند 20 درجة مئوية تساوي (360 g salt/L of water)

الذائبية للملح عند 70 درجة تساوي (400 g of salt/L of water)

Solution

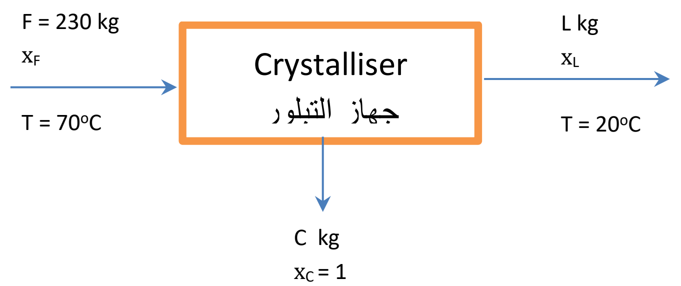
الحل

Basis = 230 kg

الاساس للحسابات = 230 كغم

Crystallisation takes place due to cooling which reduces the solubility of the sodium chloride.

يحدث التبلور بسبب التبريد الذي يقلل من قابلية ذوبان كلوريد الصوديوم في الماء.



Flow chart of the process مخطط البيانات الانسيابي لعملية التبلور

The first step is to determine the mass fractions from the known solubility values.

الخطوة الاولى هي تقييم الكسور الكتلية من قيم الذائبية المعلومة.

Note: the solubility is the mass of solute per litre of water, while the composition is the mass of solute per unit mass of solution.

ملاحظة: الذائبية هي كتلة المذاب لكل لتر من الماء، في حين أن التركيب الممثل بالكسر الكتلي هو كتلة المذاب لكل وحدة كتلة من المحلول.

Mass of solution = mass of solvent + mass of solute

كتلة المحلول = كتلة المذيب + كتلة المذاب

$$1 \text{ L of water} = 1 \text{ kg of water}, \ 1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

$$x_F = 400/(400 + 1000) = 0.2857$$

$$x_L = 360/(360 + 1000) = 0.2647$$

The second step is to perform total material balance:

الخطوة الثانية هي اجراء موازنة المادة الاجمالية:

$$F = C + L$$

$$230 = L + C \qquad (A)$$

The next step is the component balance, in this case on the solution content of solid salt.

الخطوة التالية هي موازنة المادة لاحد المكونات، وفي هذه الحالة محتوى المحلول من مادة الملح الصلب.

$$F \cdot x_F = L \cdot x_L + C \cdot x_C$$

$$230 \times 0.2857 = L \times 0.2647 + C \times 1 \qquad (B)$$

Substitute for L using equation A, $(L = 230 - C)$ نعوض

$$230 \times 0.2857 = (230 - C)\, 0.2647 + C$$

The mass of crystals formed, C = <u>6.568 kg</u>

Exercise 1

If the feed is changed to 300 kg in the above example, what will be the amount of the remaining solution?

تمرين 1

إذا تم تغيير مقدار مواد التغذية إلى 300 كغم في المثال اعلاه فما هي كمية المحلول المتبقي؟

Exercise 2

310 kg of a solution of calcium chloride contains 600 kg of solids per 1000 kg of water. The solution is cooled to 25°C in a crystallizer. Use Excel to calculate the mass of the remaining solution after cooling.

تمرين 2

310 كغم من محلول كلوريد الكالسيوم يحتوي على 600 كغم من المواد الصلبة لكل 1000 كغم من الماء. يُبرد المحلول إلى 25 درجة مئوية في جهاز للتبلور. استخدم برنامج Excel لحساب كتلة المحلول المتبقي بعد التبريد.

Solubility of $CaCl_2$ at 25°C = 0.74 kmol/100 kg H_2O

$$MW_{CaCl2} = 111$$

2.6 Balance for Binary Distillation

Binary distillation involves heat transfer as well as mass transfer; it is one of the main processing unit operations in oil refineries and other industries such as water desalination, petrochemicals and fertilizer production. The **distillation tower** is fed by a two component liquid mixture, and the lighter material with lower boiling point is vapourised by heat supplied by the **reboiler**. The vapour rises and get condensed in the **condenser** at the top. The heavier component is separated to exit the tower at the bottom through the reboiler. A number of perforated plates or **trays** are fixed inside a distillation tower to enhance separation of the two components, see Fig 2.6.

As far as the tower design is concerned, the sizing of the tower, as well as design of the condenser and the reboiler, is considered as one of the major tasks for chemical engineers.

2.6 موازنة المادة للتقطير ثنائي المكونات

تشمل عملية **التقطير ثنائي المكونات** انتقال الحرارة بالاضافة الى انتقال الكتلة، وهي إحدى عمليات الوحدات الصناعية الرئيسية في مصافي النفط وبعض الصناعات الأخرى كتحلية المياه والبتروكيمياويات وانتاج الاسمدة. يُغذى **برج التقطير** بخليط من السائل مكون من مادتين، ويتم تبخير المادة الاخف ذات درجة الغليان المنخفضة بسبب الحرارة التي يزودها **مرجل اعادة الغليان**. ويرتفع البخار فيتكثف بواسطة **المكثف** في اعلى البرج. يتم فصل المادة الأثقل من خلال مرجل إعادة الغليان فتخرج من البرج في الأسفل. تُثبت مجموعة من **الصواني** او الصفائح المثقبة داخل برج التقطير لتعزيز الفصل بين المكونين، انظر الشكل (2.6).

وفيما يتعلق بتصميم البرج، فتحديد حجم البرج وتصميم المكثف ومرجل إعادة الغليان تُعتبر احد المهام الرئيسة للمهندسين الكيميائيين.

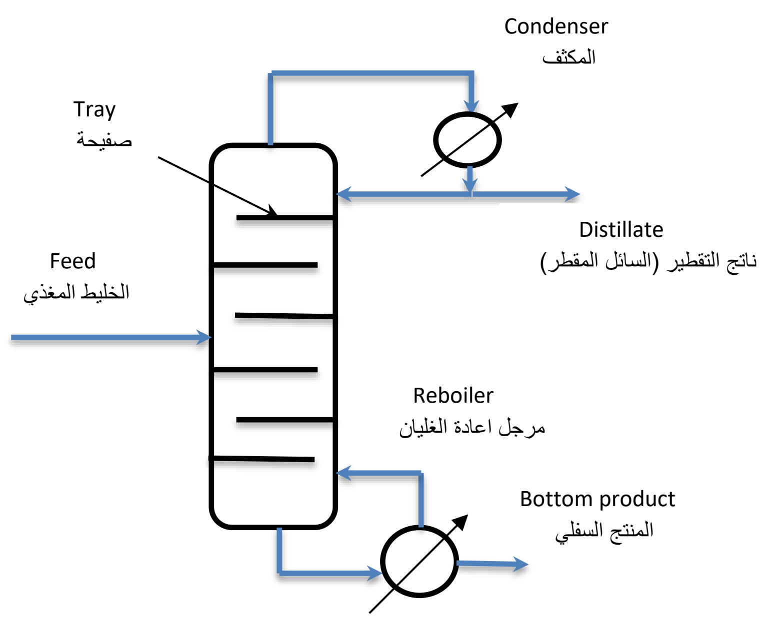


Figure 2.6 Typical binary distillation towers
الشكل 2.6 نموذج لبرج التقطيرثنائي المكونات

To conduct material balance, the diagram for distillation column is simplified to a box with feed line, top product line and bottom product line. Fig 2.7 shows a typical flow diagram.

ولاجراء موازنة المادة، يُبسط الرسم التخطيطي لبرج التقطير إلى مربع او مستطيل، حيث يشتمل المخطط الانسيابي على خط تغذية وخط إنتاج علوي وخط إنتاج سفلي كما هو مبين في الشكل (2.7).

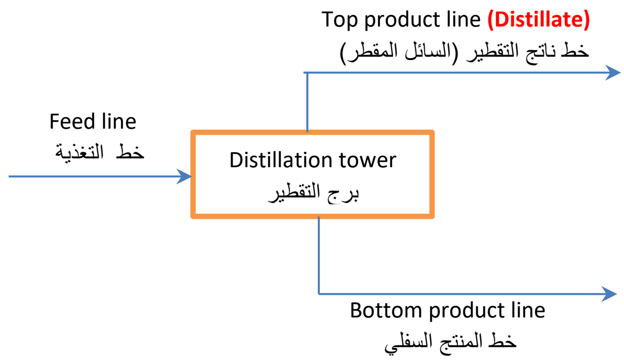


Figure 2.7 Flow diagram for binary distillation

الشكل 2.7 المخطط الانسيابي للتقطير ثنائي المكونات

Before solving examples, it is imperative to realize that material balance is the first calculation step to design distillation tower. The process design includes the determination of height and diameter of the tower, thickness of the tower wall the number of trays and tray design as well as the sizing of condenser and reboiler.

قبل ان نبدأ بحل الأمثلة، لا بد من إدراك أن موازنة المادة هي الخطوة الحسابية الأولى لتصميم برج التقطير. وتشمل تفاصيل التصميم تحديد ارتفاع البرج وقطره وعدد الصفائح وتصميم الصفائح في داخله وتحديد سمك جدار البرج بالاضافة الى تحديد حجم المكثف وحجم مرجل إعادة الغليان.

Example 2.6

المثال 2.6

A mixture of water and ethanol is fed to a binary distillation tower at the rate of 8000 kg/h. The feed contains 22% ethanol, the distillate contains 98% ethanol and the bottom product carries 1.2% ethanol. Determine: (a) The flow rate of the distillate and (b) The flow rate of the ethanol in the bottom product.

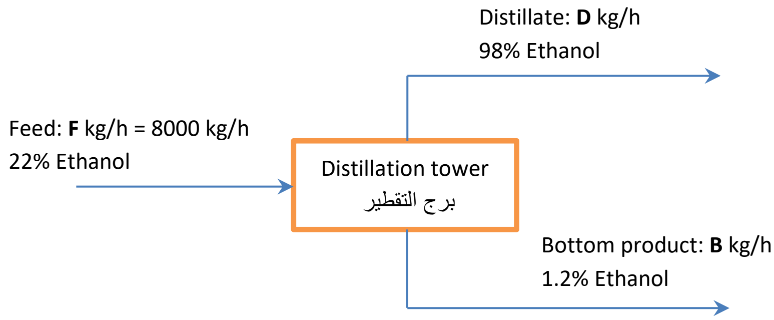
يُغذى خليط من الماء والإيثانول إلى برج تقطير ثنائي المكونات بمعدل (8000 kg/h). يحتوي الخليط الداخل للبرج على 22% أيثانول، ويحتوي السائل المقطر على 98% ايثانول بينما يحمل المنتج السفلي 1.2% أيثانول. حدد قيمة (أ) معدل جريان السائل المقطر (ناتج التقطير) (ب) معدل جريان الأيثانول في المنتج السفلي.

Solution

الحل

1. **We draw a flow chart for the process**

1. **نرسم مخطط البيانات الانسيابي لعملية التقطير**



Flow chart for the distillation مخطط البيانات الانسيابي لعملية التقطير

2. **Total material balance**,

.2 **موازنة المادة الاجمالية**,

Basis: 8000 kg/h of feed.

الاساس للحسابات: 800 كغم/ساعة من الخليط المغذي.

$$F = D + B \quad (2.9)$$

$$8000\ kg/h = D\ kg/h + B\ kg/h \quad (a)$$

3. **Material balance for the ethanol**

.3 **موازنة المادة للايثانول**

$$F\,x_F = D\,x_D + B\,x_B \quad (2.10)$$

x = mass fraction

$$8000 \times 0.22 = D \times 0.98 + B \times 0.012 \quad (b)$$

x = **mass fraction** of light component (ethanol)

x_F = mass fraction of ethanol in the feed

x = **الكسر الكتلي** للمكون الخفيف (الإيثانول)

x_F = الكسر الكتلي للإيثانول في مواد التغذية

$$x_F = 22/100 = 0.22$$

x_D = mass fraction of ethanol in the distillate

x_D = الكسر الكتلي للايثانول في السال المقطر

$$x_D = 98/100 = 0.98$$

x_B = mass fraction of ethanol in the bottom product

x_B الكسر الكتلي للايثانول في المنتج السفلي

$$x_B = 1.2/100 = 0.012$$

4. **Solve equations a and b**

4. نحل المعادلتين (a) و(b)

From equation a,

نستخدم المعادلة (a)،

$$D = 8000 – B$$

Substitute in equation b,

نعوض في المعادلة (b)،

$$8000 \times 0.22 = (8000 – B) \times 0.98 + B \times 0.012$$

$$1760 = 7840 – 0.98\ B + 0.012\ B$$

$$B = 6281\ kg/h$$

The distillate rate D = 8000 – B = 8000 – 6281 = 1719 kg/h

The flow rate of the ethanol in the bottom product = B . x_B = 6281 x 0.012
= 75.372 kg/h

Comments

The amount of ethanol wasted per hour is 75.372 kg. The percentage of ethanol wasted is given by

الملاحظات

تُقدر كمية الإيثانول المهدرة لكل ساعة بحدود 75.372 كغم وتُحسب النسبة المئوية المهدرة منه كما يلي

$$(B \cdot x_B/F \cdot x_F)\ 100$$

% of ethanol wasted = (75.372 /8000 x 0.22)100 = 4.282%

Exercise

Solve the example using a feed rate of 1200 kg/h and the ethanol percentage in the bottom product 0.85%.

تمرين

كرر حل المثال باستخدام معدل جريان مواد التغذية بحدود (1200 kg/h) ونسبة الإيثانول في المنتج السفلي 0.85%.

Example 2.7

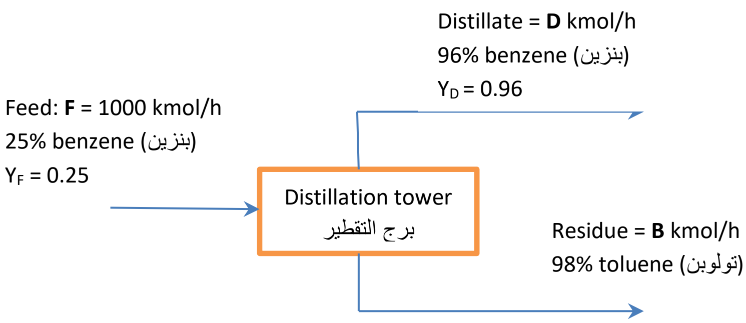
A two-component distillation tower is used to separate benzene from toluene. The feed mixture enters the tower with the composition of 25% benzene and 75% toluene. The top product contains 96% benzene. The bottom product contains 98% toluene. Based on 1000 kmol/h of feed, determine the flow rates of the distillate and residue from the bottom of the tower. What is the flow rate of toluene in the feed?

المثال 2.7

يستخدم برج تقطير ثنائي المكونات لفصل البنزين عن التوليوين. يدخل الخليط الى البرج بتركيبة 25% بنزين و75% تولوين. يحتوي المُنتج العلوي على 96% بنزين، كما يحتوي المُنتج السفلي على 2% بنزين. اوجد قيمة معدل جريان ناتج التقطير ومعدل جريان البقايا التي تخرج من اسفل البرج على أساس 1000 كمول/ساعة من مواد التغذية. ما هو معدل جريان التولوين في خليط التغذية؟

Solution

الحل



Flow chart for the distillation مخطط البيانات الانسيابي لعملية التقطير

Basis: 1000 kmol/h of feed

الاساس للحسابات: 1000 كيلومول/ساعة من الخليط المغذي

Total material balance:

مزازنة المادة الاجمالية:

$$F = D + B$$

$$1000 = D + B \qquad (A)$$

Material balance for the benzene:

موازنة المادة لمادة البنزين:

$$F \cdot y_F = D \cdot y_D + B \cdot y_B \qquad y = \text{mole fraction}$$

$$1000 \times 0.25 = D \times 0.96 + B \times (1 - 0.98) \qquad (B)$$

Solving equations A and B gives:

يمنح حل المعادلتين (A) و (B) الآتي:

$$1000 \times 0.25 = D \times 0.96 + (1000 - D)\, 0.02$$

The distillate flow rate:

معدل جريان ناتج التقطير:

D = 244.680 kmol/h

Flow rate of residue:

معدل جريان المواد المتبقية:

B = F – D = 1000 - 244.680 = 755.320 kmol/h

Flow rate of Toluene in feed $F_{toluene}$:

معدل جريان التولوين في مواد التغذية:

$$F_{toluene} = F \cdot y_{F,toluene} = 1000 \times (1 - 0.25) = \underline{750\ kmol/h}$$

Comments

الملاحظات:

We can verify the solution by conducting a balance for the toluene:

يمكننا التحقق من الحل باجراء موازنة لمادة التولوين:

$$F \cdot x_{F,toluene} = D \cdot x_{D,toluene} + B \cdot x_{B,toluene}$$

100 x 0.75 = 244.680 x (1-0.96) + 755.320 x 0.98

750 = 750

The material balance for the distillation tower is correct, because both sides of the balance equation for toluene are equal.

تُعد موازنة المادة لبرج التقطير صحيحة لان طرفي المعادلة لموازنة التوليوين متساويان.

Exercise

Solve the above example using Excel.

تمرين

حل المثال اعلاه باستخدام برنامج الاكسل.

2.7 Gas Absorption

2.7 امتصاص الغازات

In **absorption**, a mixture of two gases or more is fed to the bottom of the absorption tower. The liquid solvent is introduced at the top and runs down opposite to the rising gas mixture. The solvent absorbs most of the gas to be separated and the gas-laden liquid exits from the bottom of the tower.

تتلخص عملية **الامتصاص** بتغذية خليط من غازين أو أكثر إلى قاع برج الامتصاص وإدخال السائل المذيب في الأعلى، حيث ينحدر السائل الى اللأسفل باتجاه معاكس لخليط الغازات الصاعد. يمتص السائل المذيب معظم الغاز المراد فصله ويخرج السائل المحمل بالغاز من أسفل البرج.

The remaining gases or **inert gases** leave the tower at the top. Gas absorption, also known as gas **scrubbing** is employed in the oil and gas industry to capture acid gases such as carbon dioxide and sulphur dioxide. In fact, the process is a mass transfer operation of a gas component into the liquid. Typical **packed absorption tower** is shown in Fig 2.8.

اما الغازات المتبقية او **الغازات الخاملة** فهي تخرج من اعلى البرج. يستخدم الامتصاص في صناعة النفط والغاز لتنقية الغاز النفطي من الغازات الحامضية مثل ثاني أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت. وتعرف عملية الامتصاص أيضًا باسم عملية **غسل الغاز**. وفي الواقع، فإن عملية الامتصاص الصناعية هي عملية انتقال كتلة احد مكونات خليط الغازات إلى السائل. يبين الشكل (2.8) نموذجاً **لبرج امتصاص محشو بالجسيمات الصلبة**.

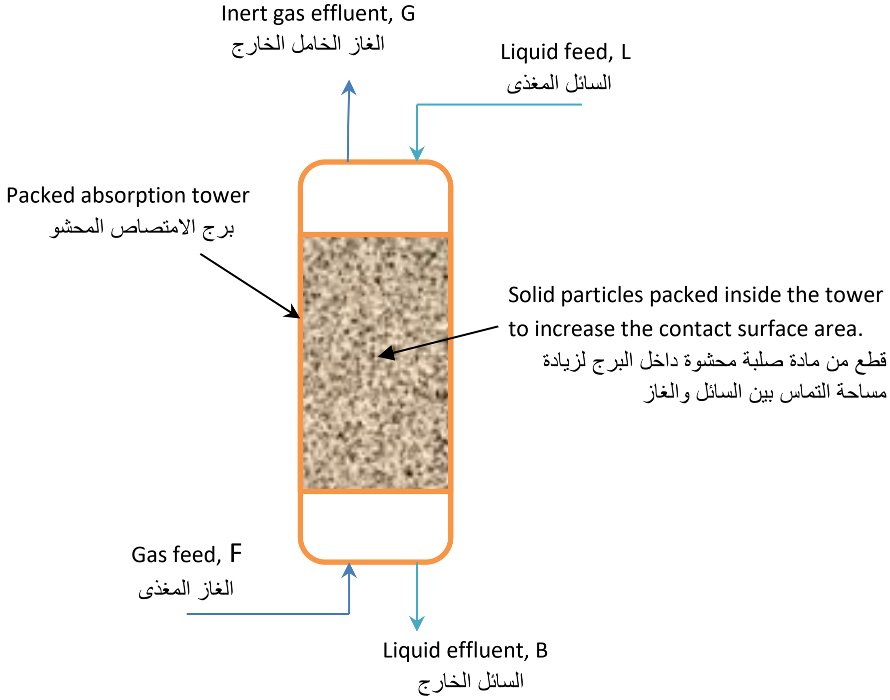


Figure 2.8 Packed absorption-tower **الشكل 2.8** برج الامتصاص المحشو

We will illustrate the material balance for an absorption tower I the next examples.

سنوضح موازنة المادة لبرج الامتصاص في الامثلة القادمة.

Example 2.8

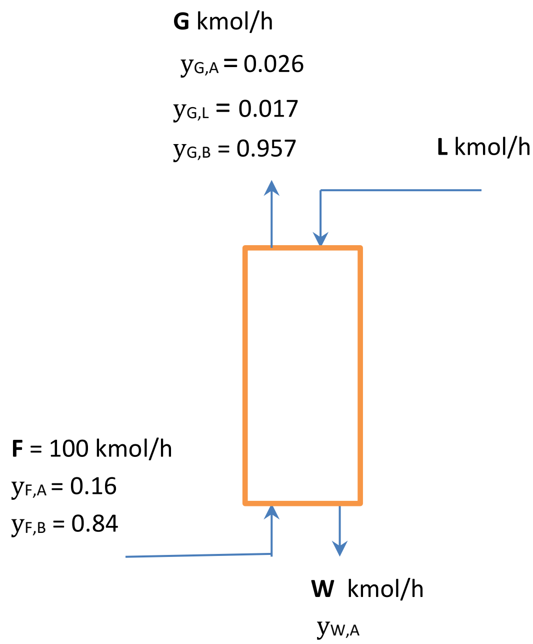
المثال 2.8

A gas mixture composed of 16 kmol % of A and 84 kmol % of inert gas B is fed to the bottom of an absorption tower. The gas mixture is scrubbed by a liquid which absorbs component A. The effluent gas leaving the tower contains 2.6% A and 1.7% of the solvent-liquid plus the inert gas. Determine the flow rate of the gas absorbed in the liquid effluent, and percentage recovery of the gas A.

خليط يتألف من (16 kmol %) من الغاز (A) و (84 kmol %) من الغاز الخامل B يدخل إلى قاع برج الامتصاص. يُغسل خليط الغازات بواسطة سائل يقوم بامتصاص المكون (A). يحتوي الغاز المتدفق من اعلى البرج على %2.6 من الغاز (A) و 1.7% من السائل المذيب بالاضافة الى كمية الغاز الخامل. حدد قيمة معدل جريان الغاز المُمتص ضمن السائل الخارج، ونسبة استرداد الغاز (A) المئوية.

Solution

الحل



Flow chart for the absorption tower

مخطط البيانات الانسيابي لبرج الامتصاص

<u>Basis:</u> 100 kmol/h of feed

<u>الاساس للحسابات:</u> (100 kmol/h) من خليط التغذية

Mole fractions are found by dividing the percentage values by 100. The symbol y here is the mole fraction, and the subscript refers to the component in each stream.

تم تقدير الكسور المولية بقسمة قيم النسب المئوية على 100. ويمثل الرمز (y) هنا الكسر المولي بينما يشير الرمز التحتي إلى احد المكونات في كل مجرى من مجاري البرج.

Material balance for the inert gas B:

موازنة المادة للغاز الخامل B:

$$y_{G,B} = 1 - (0.026 + 0.17) = 0.957$$

$y_{G,B}$ is the fraction of the inert gas at the top of the tower.

($y_{G,B}$) هو الكسر المولي للغاز الخامل في اعلى البرج

$$F \cdot y_{F,B} = G \cdot y_{G,B} \qquad (2.11)$$

$$100 \times 0.84 = G \times 0.957$$

G = <u>87.774 kmol/h</u>

G is the flow rate of the inert gas leaving the tower

(G) هو معدل جريان الغاز الخامل الخارج من البرج.

Material balance for component A:

موازنة المادة للمكون (A):

$$F \cdot y_{F,A} = G \cdot y_{G,A} + W \cdot y_{W,A} \qquad (2.12)$$

$$100 \times 0.16 = 87.774 \times 0.026 + W \cdot y_{W,A}$$

The flow rate of the gas absorbed = $(W \cdot y_{W,A})$ = معدل جريات الغاز الممتص

$(W \cdot y_{W,A}) = 100 \times 0.16 - 87.774 \times 0.026 =$ <u>13.717 kmol/h</u>

% of A recovered = the absorbed gas/the gas in the feed

نسبة استرداد الغاز (A) = كمية الغاز الممتص/كمية الغاز في خليط التغذية

% of A recovered = 13.717/(100 x 0.16) = 0.857 = <u>85.7%</u> نسبة استرداد الغاز المئوية

Comments

The calculations were performed on a basis of 100 kmol/h because the feed flow rate was not specified.

الملاحظات

اجريت الحسابات على أساس 100 كمول/ساعة لأنه لم يتم تحديد قيمة معدل جريان خليط التغذية في نص المثال.

Exercise

Solve the example considering that the flow rate of the feed gas mixture is equal to (200 kg/h) and all percentages are mass composition.

تمرين

قم بحل المثال معتبراً معدل جريان خليط الغاز المغذى مساوياً (200 kg/h)، وان جميع النسب للمكونات تشير الى التركيب الكتلي.

Example 2.9

In a petroleum gas sweetening unit, H_2S is removed by dimethyl-amine. The absorption tower is fed with sour gas containing 12% H_2S by weight and the rest is considered as an inert gas. The gas mixture is scrubbed with lean amine, which enters the top of the tower and exits the bottom as rich amine containing 1% H_2S by weight. The gas leaving the top of the tower contains 0.5 % H_2S by weight. Determine the flow rate of the gas feed based on 10,000 kg/h of lean amine entering the tower.

المثال 2.9

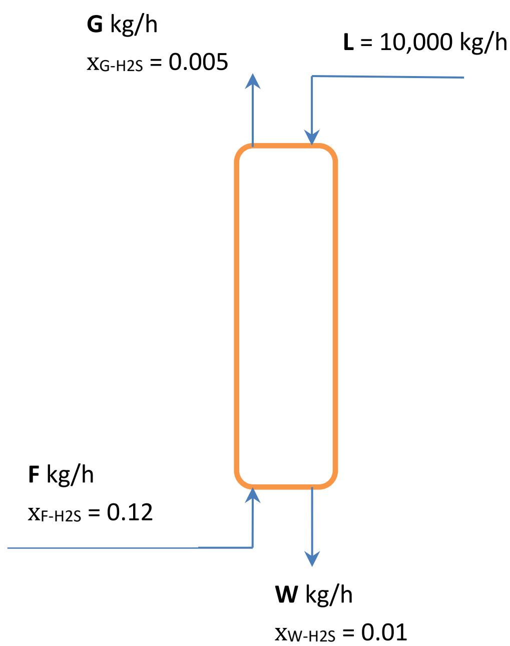
يُزال كبريتيد الهايدروجين (H_2S) بواسطة مادة أمين ثنائي الميثيل في وحدة تحلية للغاز البترولي. يُغذى برج الامتصاص بغاز حامضي يحتوي على 12% H_2S وزناً ويعتبر الباقي غازا خاملا. يُغسل خليط الغاز بالأمين النقي الذي يدخل من اعلى البرج ويخرج محملاً بكبريتيد الهايدروجين من الأسفل بنسبة 1٪ وزناً. يحتوي الغاز الخارج من قمة البرج على 0.5% H_2S وزناً. حدد قيمة معدل جريان الغاز المغذى للبرج على أساس 10,000 كغم/ساعة من مادة ألأمين النقي الداخلة للبرج.

Solution

الحل

Basis 10,000 kg/h of amine

الاساس للحسابات (10,000 kg/h) من مادة الأمين



The weight composition In this case is the same as mass composition, denoted x.

يُعد التركيب الوزني في هذه الحالة مساوياً للتركيب الكتلي، رمزه x.

$x_{F\text{-}H2S} = 12/100 = 0.12$, $x_{W\text{-}H2S} = 1/100 = 0.01$, $x_{G\text{-}H2S} = 0.5/100 = 0.005$

1. **Material for the amine:**

1. موازنة المادة لمادة الأمين:

$$L = W\,(1 - x_{W\text{-}H2S}) = W\,(1 - 0.01)$$

$$L = 0.99\,W$$

$$10000 = 0.99\,W$$

$$W = 10101.01 \text{ kg/h}$$

2. **Material balance for the inert gas:**

2. موازنة المادة للغاز الخامل:

$$F\,x_{F\text{-inert}} = G\,.\,x_{G\text{-inert}}$$

$$F\,(1 - 0.12) = G\,(1 - 0.005)$$

$$F \times 0.88 = G \times 0.995 \qquad (a)$$

3. **Material balance for the H_2S**

3. موازنة المادة لغاز (H_2S)

$$F . x_{F-H2S} = G . x_{G-H2S} + W . x_{W-H2S}$$

$$F \times 0.12 = G \times 0.005 + 10101.01 \times 0.01 \qquad (b)$$

4. To determine F, we solve the two equations (a) and (b):

4. نحل المعادلتين (a) و (b) لتقييم F:

Substitution of G in equation (b) using equation (a) gives.

يعطي التعويض عن (G) في المعادلة (b) باستخدام المعادلة (a) مايلي,

$$F \times 0.12 = (0.88/0.995\ F) \times 0.005 + 10101.01 \times 0.01$$

The gas mixture feed rate, F = 875.363 kg/h معدل جريان خليط الغازات المغذي

Exercise

If the amine entering the tower in the above example contains 0.2% hydrogen disulfide, what will be the flow rate of the gas feed?

تمرين

اذا كانت مادة الأمين الداخلة إلى البرج في المثال أعلاه تحتوي على 0.2% ثاني كبريتيد الهيدروجين فما قيمة معدل جريان خليط الغازات االداخل للبرج؟

2.8 Evaporation

As mentioned in chapter one, **evaporation** is a process used to increase the concentration of a weak solution to form a dense product. The feed is boiled inside the evaporator indirectly using steam running inside the heating tubes. The vapour rising from the solution emerges at the top and the desired product is withdrawn from the bottom of the evaporator. In addition to the process of continuous evaporation, **batch evaporation** can be carried out in an open spherical vessel. A flow chart for the process is shown in Fig 2.9; the material balance is performed as follows:

2.8 التبخير

كنا قد ذكرنا في الفصل الأول ان **التبخير** هو عملية تستخدم لزيادة تركيز المحلول المخفف لتكوين منتج كثيف القوام. ويُغلي عادة خليط التغذية في المبخر بشكل غير مباشر باستخدام بخارالماء داخل انابيب التسخين. يخرج البخار المتصاعد من المحلول في الأعلى، بينما يُسحب المنتج المطلوب من أسفل جهاز التبخير. وبالاضافة الى عملية التبخير المستمرة فيمكن استخدام **التبخير بالدفعات المتعاقبة** وذلك بتسخين المحلول في وعاء كروي الشكل مكشوف للجو. يوضح الشكل (2.9) مخطط البياتات الانسيابي لعملية التبخير؛ تُجرى موازنة المادة على النحو التالي:

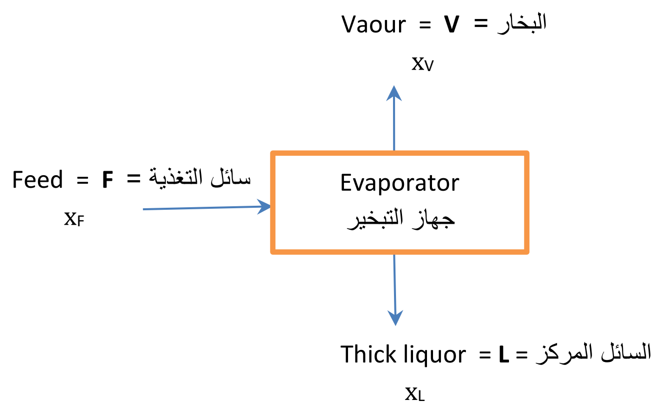


Figure 2.9 Flow chart for the evaporation process

الشكل 2.9 مخطط البيانات الانسيابي لعملية التبخير

موازنة المادة الاجمالية:

Total balance:

$$F = V + L \qquad (2.13)$$

Material balance for the solute:

موازنة المادة للمادة الصلبة المذابة:

$$F\ x_F = V\ x_V + L\ x_L \qquad (2.14)$$

Example 2.10

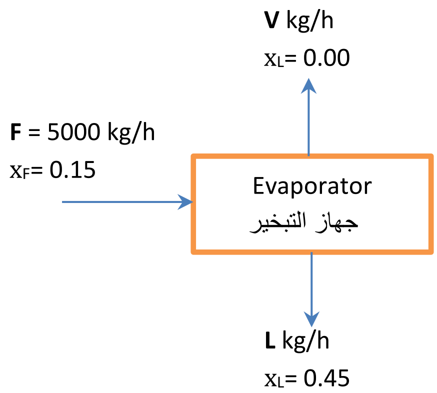
A fruit juice contains 15% solids and 85% water by weight is fed to a **single effect evaporator** at the rate of 5000 kg/h. If the concentrated juice contains 45% solids, calculate (a) flow rate of the product and (b) the flow rate of water vapour leaving the evaporator.

المثال 2.10

يحتوي احد انواع عصيرالفاكهة على 15% مواد صلبة وعلى 85% ماء كنسب وزنية. يُغذى العصير إلى **جهاز تبخير احادي التأثير** بمعدل 5000 كغم/ساعة. إذا كان العصير المركز يحتوي على 45% من المواد الصلبة، احسب (أ) معدل جريان المُنتج و (ب) معدل تدفق بخار الماء من جهاز التبخير.

Solution

الحل



Flow chart of the evaporation process مخطط البيانات الانسيابي لعملية

Basis: 5000kg/h

الاساس للحسابات: (5000kg/h)

(a) To find L,

(أ) ايجاد قيمة (L)،

Total material balance:

موزنة المادة الاجمالية:

$$F = V + L \qquad \text{(Eqn. 2.13)}$$

$$5000 = V + L$$

Material balance for the solids:

موازنة المادة للمواد الصلبة:

$$F\ x_F = V\ x_V + L\ x_L \qquad \text{(Eqn. 2.14)}$$

$$5000 \times 0.15 = V \times 0.00 + L \times 0.45$$

L = <u>1666.666 kg/h</u>

(b) We use the total material balance to find the flow rate of the rising water vapour V:

(ب) نستخدم موازنة المادة الاجمالية لإيجاد معدل تدفق بخار الماء المتصاعد V:

$$5000 = V + L$$

$$5000 = V + 1666.666$$

V = <u>3333.334 kg/h</u>

Exercise

تمرين

If the vapour carries 0.5% of solids, what will be the answer?

اذا كان البخار يحمل معه 0.5% من المواد الصلبة، فما هي الاجابة؟

Example 2.11

المثال 2.11

2000 kg of sea water is fed to an open semi-spherical vessel. The water is heated up to the boiling point by a steam coil. The salt content of sea water is 34000 ppm. If 50 litre of the water evaporates in every hour, how long does it take to evaporate 30% of the water? Determine the concentration of the salt after the evaporation of 30% of the water and find the amount of water vapour formed. Take the density of sea water to be about 1.03 g/cm^3.

توضع كمية من مياه البحر قدرها 2000 كغم الى وعاء شبه كروي مفتوح للجو. ويسخن للماء الى درجة غليانه بواسطة ملف انابيب يجري فيه بخار الماء الساخن. يحتوي ماء البحر على 34000 جزء في المليون (ppm) من الملح. فإذا كان الماء يتبخربمعدل 50 لتر لكل ساعة، فكم من الوقت يستغرق تبخير 30% من الماء؟ اوجد تركيز الملح بعد تبخر 30% من الماء ثم احسب كمية البخار المتولدة. اتخذ كثافة ماء البحر زهاء (1.03 g/cm^3).

Solution

الحل

The first thing to notice is that process is a batch evaporation process. So, the material balance is **based** on 2000 kg of feed.

أول شيء نلاحظه هو أن عملية التبخير تحدث على هيئة دفعات متعاقبة، وعليه نتخذ كتلة الماء المغذى (2000 kg) **كأساس** لاجراء موازنة المادة.

To find the time, we multiply the amount of 30% of sea water by the rate of evaporation.

لايجاد الزمن المطلوب، نقوم بضرب كمية 30% من ماء البحر بمعدل التبخير

Conversion of 1 L/h to kg/h

1 L	10^3 cm^3	10^3 x 1.03 g	10^3 x 1.03 kg	= 1.03 kg/h
h	L	cm^3	10^3 g	

The rate of evaporation: **معدل تبخير الماء:**

For 50 L/h, the rate = 1.03 x 50 = 51.5 kg/h

Amount evaporated is 30% of the sea water = (30/100) 2000) = 600 kg

Time required = 600 kg / 51.5 kg/h = 11.881 h الزمن اللازم للتبخير

We calculate the concentration of the salt after the evaporation process by performing total and salt material balances.

نحسب تركيز الملح بعد عملية التبخير بإجراء موازنة المادة الكلية وموازنة المادة للملح.

Total balance: **موازنة المادة الاجمالية:**

$F = V + L$

$F = 2000$, $V = 600$ kg

$2000 = 600 + L$

$L = 1400$ kg

Balance for the salt: **موازنة المادة للملح:**

$F . x_F = V. x_v + L x_L$, $2000. x_F = V \times 0.00 + 1400 . x_L$

x_F = 34000 ppm (parts per million) = 34 parts/1000 = 3.4/100 = 0.034

$x_F = 0.034$

$2000 \times 0.034 = x_L 1400$

$x_L = 0.048$, % of salt = <u>0.48%</u>

The amount of vapour formed, V = <u>600 kg</u>

Comments

We can convert the flow rate in L/h to kg/h by simply multiplying by the density in kg/L.

الملاحظات

يمكننا تحويل معدل الجريان بوحدات (L/h) الى (kg/h) باستخدام االكثافة بوحدات (kg/L).

1000 g = 1kg

1000 cm^3 = 1L

Density in kg/L =1.03 g/cm^3 x 1000 /1000 = 1.03 kg/L

Flow rate in kg/h = 1.03 x flow rate in L/h

Exercise

Repeat the solution of the example for evaporating 45% of the water. Conduct calculations manually and then use Excel to check the manual calculations.

تمرين

كرر حل المثال لتبخير 45% من الماء بدلاً من 30%. قم بإجراء الحسابات يدوياً ثم استخدم برنامج الاكسل للتأكد من صحة الحسابات اليدوية.

Review Questions and Problems

Basic concepts and definitions

2.1 What is a flow chart? Sketch some examples for familiar industrial processes.

2.2 What is meant by steady state continuous process?

2.3 How does transient operation differ from steady state operation?

2.4 How do you define a system for material balance? Sketch a typical process made up of three units and show the boundaries required to perform material balances.

2.5 Explain how the law of conservation of mass is used as a base for material balances.

2.6 Why is material balance important for the chemical engineer? What are the steps of performing a material balance?

Liquid-Liquid Mixing

2.7 A stream of liquid mixture consists of 20% A and 80% B by weight; it enters a mixing tank at a rate of 0.1 kg/s. Another stream consisting of A and B containing 98%A is fed to the tank at a rate of 0.14 kg/s. Determine the weight composition of the mixture in the outlet stream of the mixing tank.

2.8 In order to prepare diluted hydrochloric acid continuously, a mixture of acid and water containing 70% acid is fed to a mixing vessel at a rate of 2000 kg/h. The vessel is supplied with pure water at a rate of 5000 kg/h. Determine the percentage of hydrochloric acid in the dilute acid.

اسئلة المراجعة والمسائل

المفاهيم والتعريفات الاساسية

2.1 ما هو مخطط البيانات الانسيابي؟ ارسم بعض المخططات للعمليات الصناعية المألوفة.

2.2 ما المقصود بالعملية الصناعية المستمرة المستقرة؟

2.3 كيف تختلف العملية العابرة عن عملية الحالة المستقرة؟

2.4 كيف تحدد المنظومة لاجراء موازنة المادة ؟ ارسم عملية نموذجية مكونة من ثلاث وحدات وأظهر الخطوط الحدودية المطلوبة لإجراء موازنات المادة.

2.5 اشرح كيف يستخدم قانون حفظ الكتلة كاساس لموازنات المادة .

2.6 لماذا تُعتبر موازنة المادة مهمة للمهندس الكيميائي؟ ما هي خطوات إجراء موازنة المادة؟

خلط السوائل

2.7 يتكون مجرى لخليط من السوائل من 20% A، و80% B كنسب وزنية. يدخل الخليط إلى وعاء الخلط بمعدل 0.1 كغم/ثانية، وهناك مجرى آخر يتألف من المادتين A وB يحتوي على 98% A يُغذي الوعاء بمعدل 0.14 كغم/ثانية. حدد التركيب الوزني للخليط في المجرى الخارج من وعاء الخلط.

2.8 خليط من حامض الهيدروليك والماء يحتوي على 70% من الحامضز يغذى الخليط إلى وعاء خلط بمعدل 2000 كغم/ساعة لتحضير حامض الهايدروكلوريك المخفف بشكل مستمر. اذا كان الوعاء يُجهز بالماء النقي بمعدل 5000 كغم/ساعة، حدد النسبة المؤية لحامض الهايدروكلوريك في الحامض المخفف.

Ans. 20% الجواب

2.9 If the molecular weights of HCl and H_2O are 36.5 and 18 respectively in problem 2.8, what will be the flow rate of the diluted hydrochloric acid in kmol/s?

2.9 إذا كان الوزن الجزيئي لـلحامض HCl وللماء H_2O يساوي 36.5 و 18 على التوالي في المسألة 2.8، فما هو معدل جريان حامض الهايدروكلوريك المخفف بوحدات الكيلومول/ثانية (kmol/s)؟

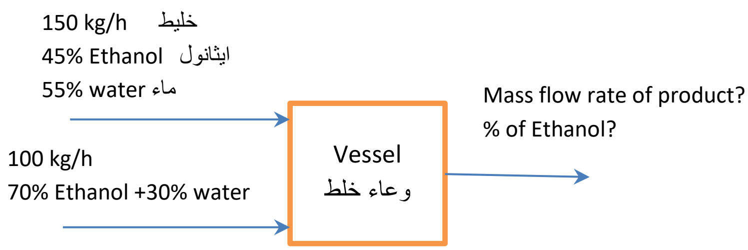
Ans. 0.097 kmol/s الجواب

2.10

Mixing is carried out as shown below,

2.10

تُنجز عملية خلط السوائل كما هومبين في ادناه،



Determine the mass flow rate of product and the percentage of ethanol in the product.

حدد معدل االجريان الكتلي للمُنتج والنسبة المؤية للإيثانول فيه.

Drying

التجفيف

2.11 A solid material containing 22% moisture is fed to a tray drier. The moisture content is reduced by heating with hot air to 1.25% in the dried product. For 400 kg of water removed, calculate (a) the mass of the feed and (b) the mass of the dry solid product.

2.11 تًجهز مادة صلبة تحتوي على22 % رطوبة الى المجفف ذو صواني. يتم تقليل محتوى الرطوبة إلى 1.25% في المُنتج المجفف عن طريق التسخين بالهواء الساخن. فاذا كانت كمية الماء المستخرجة من المادة الصلبة الرطبة تساوي 400 كغم، احسب (أ) كتلة المادة المجهزة للمجفف (ب) كتلة المنتج الصلب الجاف.

2.12 A wet solid material contains 15% moisture is fed continuously to a rotary dryer at the rate of 1250 kg/h. The water content is reduced to 2.0 % by circulating hot air through the dryer. The inlet air contains 1.1% water vapour, and the exit air carries 3.2% vapour. Calculate the mass flow rate of air required for the drying process.

2.12 تُغذى مادة صلبة رطبة تحتوي على 15% رطوبة بشكل مستمر إلى مجفف دوار بمعدل (1250 kg/h)، حيث يُقلل محتوى المادة من الماء إلى 2.0% عن طريق تدوير الهواء الساخن من خلال المجفف. فاذا كان الهواء الداخل يحتوي على 1.1% بخار ماء، بينما يحمل الهواء الخارج نسبة 3.2 % من البخار، احسب معدل الجريان الكتلي للهواء اللازم لعملية التجفيف.

2.13 Wet solids from a sewage plant consist of 72% water and the rest is solid materials. The water content is to be reduced to 26% by drying. How much water will evaporate when 1200 lb_m of sludge is fed to the dryer?

2.13 يتكون خليط من مواد صلبة رطبة من 72% ماء والباقي مواد صلبة في محطة صرف صحي معينة. اذا كان المطلوب تقليل محتوى الماء إلى 26% عن طريق التجفيف، فما هي كمية الماء التي ستتبخر عندما يدخل الى المجفف كمية من الخليط مقدارها ($1200\ lb_m$)؟

5.946 lb

Crystallisation

التبلور

2.14 A solution contains 37% solids is fed to a crystallizer. The temperature is reduced to form pure crystals of the solid. A saturated solution contains 26% solids remained. Determine the mass of the feed that produces 4000 kg of crystals.

2.14 يُغذى محلول يحتوي على 37% من المواد الصلبة إلى احد اجهزة التبلور، وبعد تخفيض درجة الحرارة تتكون بلورات من المادة الصلبة النقية، بينما يتبقى محلول مشبع يحتوي على 26% من المواد الصلبة. اذا كان المراد انتاج 4000 كغم من البلورات، حدد مقدار كتلة المادة التي تدخل الى جهاز التبلور.

2.15 A solution of sodium nitrate at 42°C is cooled to 12°C in a crystalliser. Calculate the amount of crystallised salt per 830 kg of feed solution.

The solubility of sodium nitrate at 42°C
= 51.35 kg salt/100 kg water

The solubility of sodium nitrate at 12°C
= 44.8 kg of salt/100 kg water.

2.15 يُبرد محلول نايترات الصوديوم من 42 درجة مئوية إلى 12 درجة مئوية في جهاز للتبلور. احسب كمية الملح المتبلور لكل 830 كغم من المحلول المُجهز للجهاز، علماً ان:

الذائبية لنايترات الصوديوم عند 42 درجة مئوية = 51.35 كغم ملح / 100 كغم من الماء.

الذائبية لنايترات الصوديوم عند 10 درجة مئوية = 44.8 كغم ملح / 100 كغم من الماء.

2.16 30 kmol of calcium chloride solution contains 100 lb_m of solid per 100 kg of water. Calculate the mass of the crystals and the mass of the resulting solution when the solution is cooled to 10°C in a crystalliser.

2.16 يحتوي 30 كيلومول من محلول كلوريد الكالسيوم على 100 باوند ($100\ lb_m$) من المادة الصلبة لكل 100 كغم من الماء. احسب كتلة البلورات وكتلة المحلول الناتج عندما يبرد المحلول الى 10 درجة مئوية في جهاز التبلور.

Solubility of calcium chloride at 10°C = 66.7 g/100 mL of water

MW of CaCl2 = 111

Note the composition here should be in kg of solids /100 kg of solution.

ملاحظة التركيب هنا ينبغي ان يستند الى عدد الكيلوغرامات من المادة الصلبة مقسومة على 100 كغم من المحلول.

Ans. 158.6 kg, 1644.06 kg الجواب

2.17 A solution of salt and water containing 22% salt is charged to a crystallizer. 2300 kg of the solution is first heated to evaporate some of the water and then cooled to 20°C to produce the salt crystals. If 52% of the salt is to be crystallised, determine the amount of water evaporated and the mass of the saturated solution left.

2.17 يُجهز محلول من الملح والماء يحتوي على 22% ملح إلى جهاز للتبلور. يُسخن 2300 كم من المحلول اولاً لتبخير بعض الماء منه، ثم يُبرد إلى درجة حرارة مقدارها 20 درجة مئوية لإنتاج بلورات الملح. إذا كان المطلوب تبلور 52% من الملح فأوجد كتلة الماء المتبخر وكتلة المحلول المشبع المتبقي.

Solubility of salt at 20°C = 0.616 gmol/100 mL water

MW of NaCl =58.44

Ans. 631.32 kg, 1405.55 kg الجواب

Note:

ملاحظة:

Solve the problem manually and using Excel.

قم بحل المسالة يدوياً وباستخدام برنامج الاكسل.

Distillation

التقطير

2.18 A mixture, made up of 30% toluene and 70% benzene by weight, is fed to a distillation tower at the rate of 1200 kg/h. If the top product contains 56% benzene by weight and the bottom product contains 96% toluene, determine the flow rate of the distillate and bottom product.

2.18 يدخل خليط مكون من 30% تولوين و70% بنزين كنسب وزنية الى برج التقطير بمعدل 1200 كغم/ساعة. فإذا علمت ان المنتج العلوي يحتوي على 56% بنزين بالوزن والمنتج السفلي يحتوي على 96% تولوين، أوجد معدل جريان كل من ناتج التقطير والمنتج السفلي.

2.19 A solution of methanol is continuously fed to a distillation tower. The flow rate of the feed equals 100 kmol/h. If the molar composition of the solution is 15% methanol and 85% water, the distillate contains 97% methanol and the waste solution carries 1% methanol, calculate the percentage loss of methanol and determine the flow rate of the distillate in kg/h.

2.19 يُغذى محلول الميثانول بشكل مستمر إلى برج تقطير، وكان معدل جريان التغذية يساوي 100 كمول/ساعة. فإذا علمت ان التركيب المولي للمحلول 15% ميثانول و85% ماء، ويحتوي ناتج التقطير على 97% ميثانول بينما يحمل المحلول المتبقي 1% ميثانول، احسب النسبة المئوية لفقدان الميثانول وحدد معدل جريان ناتج التقطير بوحدات الكيلوغرام/ساعة.

$MW_{methanol}$ = 32, MW_{water} = 18

Ans. 3.69% , 460.563 kg/h الجواب

2.20 A liquid mixture consists of 46% of component A and 54% of B by mass is fed to a distillation tower at the rate of 1900 L/h. The distillate from the top of the tower contains

2.20 يغذى خليط سائل يتركب من 46% من المكون (A) و54% من (B) كنسب كتلية الى برج تقطير بمعدل 1900 لتر/ساعة. يحتوي ناتج التقطير في أعلى البرج

94% A by mass; the bottom product contains 7% of component A in the feed to the tower. Calculate the mass flow rate and mass composition of the bottom product. The density of the feed mixture is 0.892 g/cm^3.

على 95% من (A) كنسبة كتليه، ويحتوي المنتج السفلي على 7% من كمية المكون (A) الموجودة في الخليط المغذى للبرج. احسب معدل االجريان الكتلي لخليط المنتج السفلي وتركيبته الكتلية. المعلوم ان كثافة الخليط المغذى تساوي 0.892 غم/سم^3.

Solve the problem manually and also using Excel on your computer.

قم بحل المسأله يدويًا، وأيضًا باستخدام برنامج الاكسل (Excel) على جهاز الكمبيوتر الخاص بك.

Ans. 923.485 kg/h, 5.9% A, 94.1% B الجواب

Gas Absorption

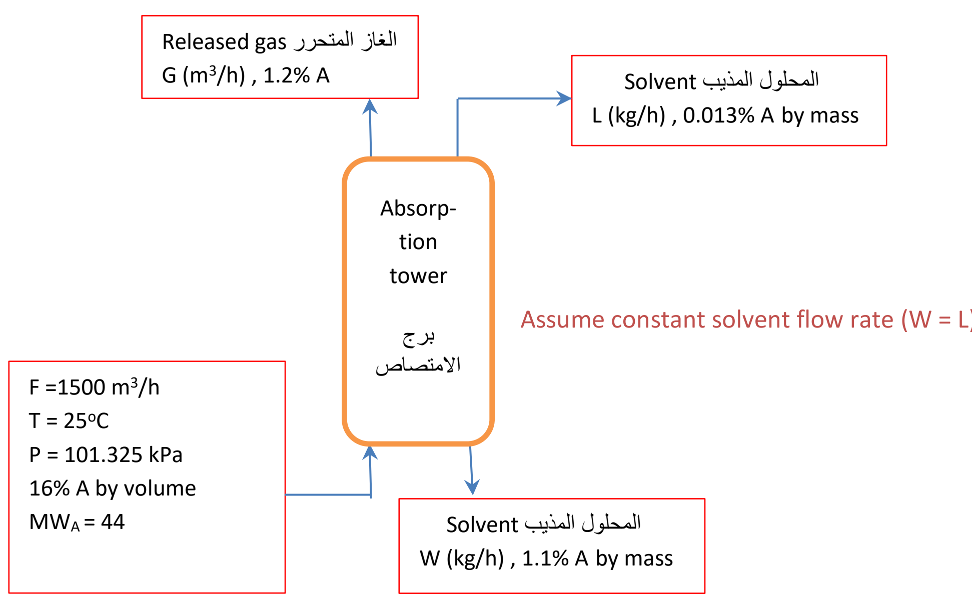
امتصاص الغازات

2.21 A gas mixture, consists of 14 % of A and 86% by mass of inert gas, is fed to the bottom of an absorption tower. The gas mixture is washed by a liquid which absorbs component A. The effluent gas leaving the tower contains 2.7% A and 1.5% of the solvent-liquid plus the inert gas. Determine the flow rate of the gas absorbed in lb_m/h, and find the percentage recovery of component A for 1.1 ton/h of gas mixture feed.

2.21 يُغذى خليط من الغازات إلى قاع برجل الامتصاص، حيث يتكون الخليط من 14% من غاز A و 86% من الغاز الخامل كنسب كتلية. يُغسل خليط الغاز بواسطة سائل يمتص المكون A. يحتوي الغاز المتدفق من اعلى البرج على 7% من A و 1.5% من السائل المذيب بالاضافة الى الغاز الخامل. احسب معدل جريان الغاز المُمتص بالوحدات (lb_m/h)، ثم اوجد نسبة استرداد المكون A المئوية عندما يكون معدل جريان خليط الغاز الذي يدخل البرج مساوياً الى (1.1 ton /h).

2.22 The gas A is absorbed as shown below:

2.22 يتم امتصاص الغاز A كما هو موضح في أدناه:



Determine the mass flow rate of the solvent.

اوجد معدل الجريان الكتلي للمذيب.

You can use the ideal gas law:

يمكنك استخدام قانون الغازات المثالية:

$$PV = nRT_o\ ,\ R_o = 8.314\ kJ/kmol.K$$

Ans. 47,341.490 kg/h الجواب

Evaporation

التبخير

2.23 A weak solution of caustic soda contains 5% of solids and 95% water by mass; it is fed to a single effect evaporator at the rate of 2000 kg/h. If the concentrated solution contains 35% solids, calculate (a) flow rate of the caustic soda in the product and (b) the flow rate of water vapour exiting the evaporator.

2.23 يحتوي محلول مخفف من الصودا الكاوية على 5% من المواد الصلبة و 95% من الماء كنسب كتلية. يُغذى المحلول إلى مُبخر احادي التأثير بمعدل 2000 كغم/ساعة. إذا كان المحلول المركز يحتوي على 35% من المواد الصلبة، احسب (أ) معدل جريان الصودا الكاوية في المُنتج و (ب) معدل جريان بخار الماء المتدفق من جهاز التبخير.

2.24 Using the information in problem 2.23 calculate the molar composition of the feed and the molar flow rate of the product taking the mole fraction of the solids in the product to be 0.2.

2.24 باستخدام المعلومات الواردة في المسألة 2.23 احسب التركيب المولي لمواد التغذية ومعدل الجريان المولي للمنتج متخذاً الكسر المولي للمواد الصلبة في المنتج يساوي 0.2.

$$MW_{NaOH} = 40,\ MW_{H2O} = 18$$

Ans. NaOH = 2.3 mole %, Molar flow rate of product = 12.426 kmol/h الجواب

2.25 A solution of potassium chromate is to be concentrated in an evaporator from 30% solids by mass to 55% solids. The evaporator product capacity is 250 kg/h of solids. If the same set up is to concentrate weak solution from 7% to 35%, determine the solid product capacity of the system assuming that the water evaporation rate is the same in both cases.

2.25 اذا كان المطلوب تركيز محلول كرومات البوتاسيوم في جهاز للتبخير من 30% مواد صلبة إلى 55% من المواد الصلبة كنسب كتلية، وكانت سعة انتاج المبخر للمواد الصلبة تساوي 250 كغم/ساعة. حدد سعة انتاج المنظومة للمواد الصلبة إذا استخدمت نفس المنظومة لتركيز محلول مخفف من تركيز 7% إلى 35%، افترض ان معدل تبخير الماء ثابت في كلتا الحالتين.

Ans. 94.696 kg/h الجواب

Chapter 3 | **الفصل الثالث**

Material Balance with Chemical Reactions

موازنة المادة بوجود التفاعلات الكيميائية

In this chapter we deal with more advanced material balances focusing our attention on chemical ractors. We first consider the bypass and recycle streams for processing units, then discuss material balance for two consecutive industrial units. Next, we address balances associated with chemical reactions, including reactors combined with separation units and bypasses. Finally, we study material balances for fuel combustion systems. A number of examples are included to illustrate the calculation methods for the topics mentioned above.

نتناول في هذا الفصل موازنات المادة ألاكثر تقدما مع التركيز على المفاعلات الكيميائية. ننظر أولاً في موضوع ممرات التجاوز وممرات إعادة التدوير عبر الوحدات االصناعية، ثم نناقش موزنة المادة لمنظومة وحدتين صناعيتين متتاليتين. نتطرق بعد ذلك الى الموازنات بصحبة التفاعلات الكيميائية بما في ذلك المفاعلات المدمجة مع وحدات الفصل وبوجود ممرات التجاوز. واخيراً ندرس موازنة المادة لمنظومات احتراق الوقود. يتضمن الفصل عدداً من الأمثلة لتوضيح طرق

3.0 Learning Objectives of Chapter 3

- Conduct material balance for a processing unit with a bypass or recycle
- Perform material balance for two sequential processing units
- Study the inclusion of a bypass to multi-unit material balance
- Introduce stoichiometry and define limiting and excess reactants, conversion and yield.
- Explain and apply extent of reaction and selectivity
- Conduct material balances for processes with chemical reactions
- Include recycle for chemical reactor balances
- Introduce combustion reactions and fuels
- Perform material balances for combustion systems

3.0 اهداف دراسة الفصل الثالث

- إجراء موازنة المادة لاحد الوحدات الصناعية بوجود ممر تجاوز أو ممر إعادة التدوير
- اجراء موازنة المادة لوحدتيين صناعيتين متعاقبتين
- دراسة تاثير ممر التجاوز على موازنة المادة للوحدات المتعددة
- التعرف على مبدأ تكافؤ العناصر الكيميائية وتعريف كل من المُتفاعل المحدد و المُتفاعل الفائض ونسبة التحويل والانتاجية
- توضيح وتطبيق مدى تقدم التفاعل و الانتقائية
- اجراء موازنات المادة لعمليات صناعية بوجود التفاعلات الكيميائية
- شمول ممر التجاوز في موازنات المفاعلات الكيميائية
- التعرف على تفاعلات الاحتراق وعلى انواع الوقود
- اجراء موازنات المادة لمنظومات الاحتراق

3.1 Bypass - Material Balance

*A **bypass** is apartial stream or a side pipe branching from the **feed line** that skips the **processing unit***. This arrangement is widely used to control composition of the processing **products** by mixing with the stream leaving the unit. Fig (3.1) shows a block diagram of a bypass.

3.1 ممرات التجاوز - موازنة المادة

*يُطلق اسم **ممر التجاوز** على مجرى فرعي او انبوب جانبي يتشعب من **خط تغذية المواد** ويتخطى **وحدة التصنيع***. يستخدم ممر التجاوز الجانبي على نطاق واسع للتحكم في تركيبة **مُنتَجات** او نواتج التصنيع عن طريق الخلط مع مواد المجرى الخارج من وحدة التصنيع. يوضح الشكل (3.1) مخططاً لمنظومة التجاوز.

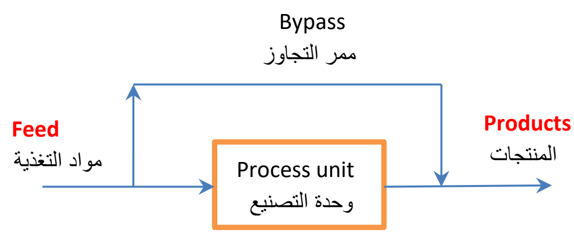


Figure 3.1 A process unit with a bypass

الشكل 3.1 احدى وحدات التصنيع مع ممر للتجاوز

Bypass operations are often required on safety related systems such as plant **emergency shutdown** and alarm systems. Maintenance may also require bypassing the unit temporarily. The protection of pumps from damage may also require the installment of a bypass, however this type is irrelevant to material balances.

Material balance across a bypass is a step towards multi-unit balances. We will illustrate the concept of material balance for some units involving a bypass in the following examples.

وغالبًا ما يتطلب وجود ممرات التجاوز في الأنظمة المتعلقة بالسلامة، مثل منظومة **ايقاف التشغيل الطارئ** للمصنع ومنظومات الإنذار المبكر. وقد تتطلب صيانة بعض المعدات ايضاً التجاوز مؤقتًا من خلال الممرات الجانبية. كما يستلزم حماية المضخات من الضرر تركيب ممرات تجاوز جانبية، إلا أن هذا النوع من ممرات التجاوز لا علاقة له بموازنة المادة.

تُعد موازنة المادة عبر ممرات التجاوز خطوة نحو اجراء موازنات متعددة للوحدات. سنوضح مفهوم موازنة المادة لبعض الوحدات التي تشتمل على مجرى للتجاوز في الامثلة التالية.

Example 3.1

A mixture containing 15% solids (A) and 85% water by weight is fed an evaporator. It is required to be concentrate the mixture to 45% solids. Therefore, a bypass is required to adjust the concentration of the evaporator output from 54% to 45%.

المثال 3.1

يدخل خليط الى جهاز تبخير يحتوي على 15% المادة الصلبة (A) و 85% الماء كنسب وزنية. ويتطلب الامر تركيز الخليط إلى 45% من المادة الصلبة, لذا يلزم وجود ممر جانبي يتجاوز المبخر لتعديل تركيز المنتج الخارج من المبخر من54 % إلى 45%.

Determine: (a) The mass of mixture that bypassed the evaporator (b) the mass of the final **product** from the evaporator and (c) the amount of mixture fed to the evaporator.

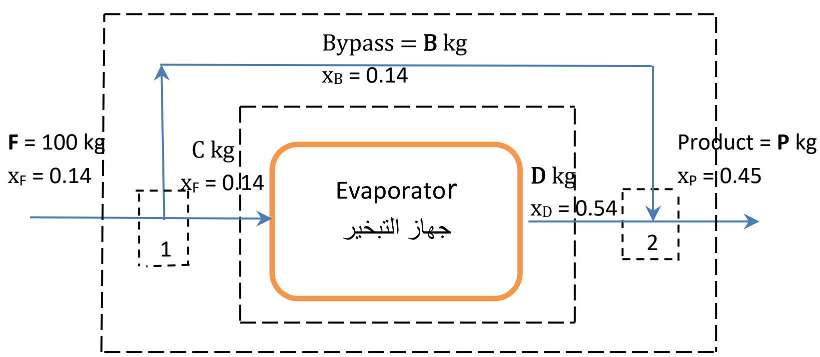
حدد قيمة: (أ) كتلة الخليط في ممر التجاوز للمبخر و(ب) كتلة **المُنتَج** النهائي من المبخر و (ج) كمية الخليط التي دخلت للمبخر.

Solution

الحل

The mass of the feed is not specified, thus we assume a value of 100 kg as a basis for the calculations.

لم تُحدد كتلة الخليط المغذي، لذا نفترض أن مقدارها يساوي 100 كغم كأساس للحسابات.



Flowchart for the example مخطط البيانات الانسيابي للمثال

x = mass fraction

x = الكسر الكتلي

There are three unknowns; B, C and P, therefore we need to perform material balances at different locations defined by the boundaries.

نظراً لوجود ثلاثة مجاهيل هي (P) و (C) و (B)، نحتاج اجراء موازنات للمادة في مواقع مختلفة ضمن خطوط الحدود الموضحة في المخطط.

Basis: 100 kg of feed

الاساس للحسابات: 100 كغم من الخليط الداخل

Overall balance for solids:

موازنة المواد الصلبة عبر المنظومة باكملها:

$$F \cdot x_F = P \cdot x_P ,$$

$$100 \times 0.14 = P \times 0.45, \qquad P = \underline{31.111\ kg}$$

Total balance at 1:

الموازنة الاجمالية في الموقع 1:

$$F = B + C \quad , \quad 100 = B + C \qquad \text{(a)}$$

No point of conducting a balance on solids at 1 because all streams have the same composition.

ليس هناك اي جدوى من اجراء موازنة للمادة الصلبة في الموقع 1 لان جميعع المجاري لها نفس التركيبة.

Balance for solids across the evaporator: **موازنة المواد الصلبة عبر المبخر:**

$C . x_F = D . x_B$

$0.14 C = 0.54 D$ (b)

Total balance at 2: **الموازنة الاجمالية في الموقع 2:**

$P = D + B$ $31.11 = D + B$ (c)

Balance for solids at 2: **موازنة المواد الصلبة في الموقع 2:**

$P. x_P = D . x_D + B . x_B P \times o.45 = D \times 0.54 + B \times 0.14$ (d)

Combining equations (c) and (d):

وبدمج المعادلتين (c) و (d) نحصل على:

$31.11 \times o.45 = (31.11 - B) \times 0.54 + B \times 0.14$ (e)

B = <u>6.99 kg</u>

We combine equation (b) and (a): نجع المعادلتين (b) و (a):

$0.14 (100 – B) = 0.54 D$

$0.14 (100 - 6.99) = 0.54 D$

$D = 24.11$ kg

We find C from equation (b): نقييم C من المعادلة (b):

$0.14 C = 0.54 D$, $C = (0.54 \times 24.11)/0.14$

C = <u>92.99 kg</u>

Exercise

Repeat the solution for 4000 kg feed by manual calculations as well as using Excel.

تمرين

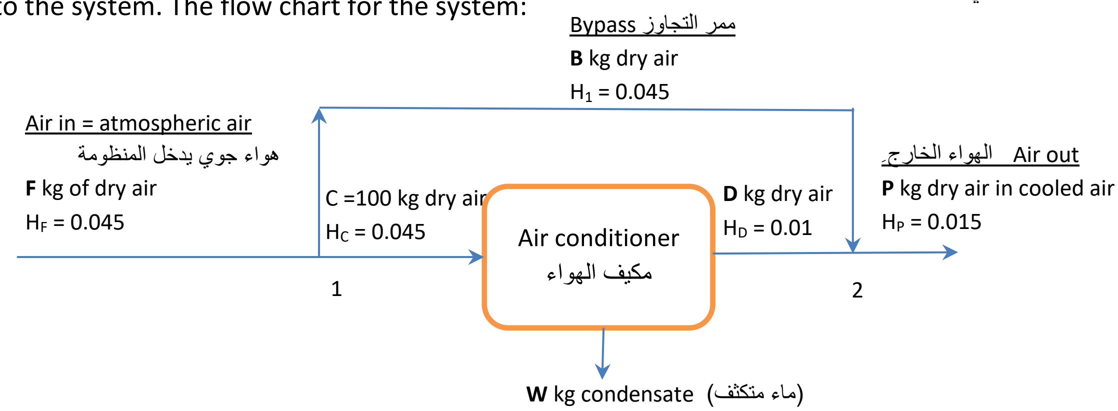
كرر الحل بالطريقة اليدوية وباستخدام برنامج الاكسل، اذا كان 4000 كغم من الخليط المغذي يدخل المنظومة.

Example 3.2

المثال 3.2

The humidity of air is reduced from 0.045 to 0.015 kg water vapour/kg dry air by an air-conditioning system. A bypass line to the AC unit is included in the system to maintain the humidity of the air exiting the unit at 0.01 kg water vapour/kg dry air. For 100 kg of dry air entering the unit, calculate (a) the mass of condensate leaving the unit, (b) the dry air in the bypass and amount of atmospheric air fed to the system. The flow chart for the system:

تنخفض رطوبة الهواء من 0.045 إلى 0.015 كغم من بخار الماء لكل كغم من الهواء الجاف بواسطة منظومة تكييف للهواء. تتضمن منظومة التكيف ممراً جانبياً يتجاوز مكيف الهواء للحفاظ على رطوبة الهواء الخارج منه عند 0.01 كغم من بخار ماء/كغم هواء جاف. استناداً الى 100 كغم من الهواء الجاف الداخل للمكيف، احسب (أ) كتلة المكثفات الخارجة من المكيف و (ب) كمية الهواء الجاف في ممر التجاوز وكمية الهواء الجوي الداخلة الى المنظومة.
مخطط البيانات الانسيابي للمنظومة:



H = humidity in: [kg water vapour/kg dry air] يمثل الرمز (H) الرطوبة بالوحدات:

Solution

الحل

The material balance in this example is based on water expressed as humidity H. There are 4 unknowns, they are: F, B, P, and W.

تستند موازنة المادة في هذا المثال الى الماء الممثل بالرطوبة (H). وهناك اربعة مجاهيل هي: (F) و (B) و (P) و (W).

Basis: 100 kg of dry air entering the AC unit.

الاساس للحسابات: 100 كغم من الهواء الجاف يدخل الى مكيف الهواء.

Overall water balance:

موازنة الماء عبر المنظومة باكملها:

$$(F \times H_F) = (P \times H_P) + W \quad \text{(a)}$$

Humidity is the same in the feed, the bypass, and the stream entering the unit. Therefore, water balance is not applicable at the mixing point 1 and it will be done at 2.

لما كان مقدار الرطوبة ثابت في الهواء الداخل الى منظومة التكييف والهواء في الممر الجانبي والهواء الداخل الى المكيف، لذا لا يصح اجراء موازنة المادة للماء في نقطة الخلط 1 وانما ستُنجز في الموقع 2.

Total balance at 2: $D + B = P$ **موازنة اجمالية في الموقع 2:**

$D = C = 100$ (dry air is flow rate is constant across the unit معدل جريان الهواء الجاف ثابت عبر المكيف)

$$100 + B = P$$

Balance for the water at 2: **موازنة المادة للماء في الموقع 2:**

$D \times H_D + B \times H_B = P \times H_p$, $D + B = P$, $100 + B = P$

$100 \times 0.01 + B \times 0.045 = (100 + B) \times 0.015$

B = <u>16.666 kg dry air</u> Dry air in the bypass كتلة الهواء الجاف في ممر التجاوز

P = 100 + 16.666 = 116.666 kg dry air leaving the AC unit,

Water balance across the air conditioner: **موازنة الماء عبر المكيف:**

$$C \,.\, H_C = W + D \,.\, H_D$$

$$100 \times 0.045 = W + (100 \times 0.01)$$

W = <u>3.5 kg of water</u> mass of the condensate كتلة الماء المتكثف

Overall balance for dry air: P = F = 116.666 موازنة للهواء الجاف عبر المنظومة

F = 116.666 kg dry air mass of dry air in the feed (كتلة الهواء الجاف الداخل الى المنظومة)

Atmospheric air = dry air + water = 116.66 + (116.66 x 0.045) = <u>124.159 kg</u> كمية الهواء الجوي الداخلة

Comments

1. We have distinguished between the system and the Ac unit and it is advisable to draw the boundaries around possible material balance locations. Note that humidity is not the same as concentration, because it is based on dry air. That is ambient air is composed of humidity which is the mass of water vapour plus mass of dry air.
2. Humidity units = kg of wter/kg dry air Concentration units = kg of water/kg wet air. Thus one must be careful when conducting material balances to recognize whether it is based on dry air or wet air. The units are also important; moles, mass or volumetric flow rates may be used.

الملاحظات

1. كنا قد ميزنا بين المظومة التي تشمل ممر التجاوز ووحدة التكييف، ومن المستحسن رسم خطوط الحدود حول مواقع موازنات المادة المحتمل اجرائها. لاحظ ان الرطوبة هي ليست التركيز لأنها تعتمد على حجم او كتلة الهواء الجاف. أي أن الهواء الاعتيادي يتكون من الرطوبة زائداً الهواء الجاف او كتلة بخار الماء زائداً كتلة الهواء الجاف.

2. وحدات الرطوبة = كغم من الماء/كغم هواء جاف. وحدات التركيز = كغم ماء / كغم هواء رطب. ولذلك يجب توخي الحذر عند إجراء موازنات المادة ومعرفة اولاً ما إذا كانت تعتمد على الهواء الجاف أم على الهواء الرطب. كما ان الوحدات مهمة أيضاً، فيمكن استخدام معدلات جريان مولية أو كتلية أو حجمية.

3.2 Recycle - Material Balance

Recycle streams usually branch of the outlet pipes of **chemical reactors**. The purpose of recycling part of the reactor products to mix with the feed is to ensure the completion of the reaction. In general, unit operations such as distillation absorption and drying may also require recycling to maximise the **yield**. Fig 3.2 depicts a typical recycle system.

3.2 اعادة التدوير - موازنة المادة

عادة ما تتفرع **ممرات إعادة التدوير** من الانابيب الخارجة من **المفاعلات الكيميائية**، والغرض من إعادة تدوير جزء من منتجات المفاعل وخلطها مع مواد التغذية هو لضمان اكتمال التفاعل. وعموماً قد تتطلب عمليات الوحدات الصناعية، كالتقطير والامتصاص والتجفيف، إعادة التدوير لزيادة **الإنتاجية** إلى الحد الأقصى. يوضح الشكل (3.2) نموذجاً لمنظومة إعادة التدوير.

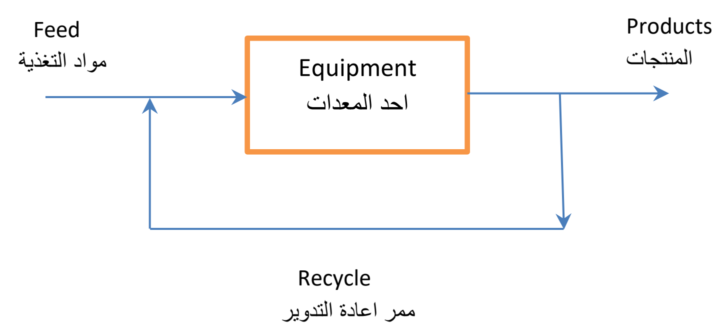


Figure 3.2 Recycle operation **الشكل 3.2** التشغيل بوجود اعادة التدوير

We will solve some examples for recycle of unit operations and deal with reactors later.

سوف نقوم بحل بعض الأمثلة تخص إعادة التدوير في عمليات الوحدات الصناعية ثم نتطرق الى المفاعلات الكيميائية لاحقا.

Example 3.3

A liquid-solid mixture containing 65% liquid by weight is dried to contain 4% liquid. Hot air is recycled to save some of the thermal energy supply to the drier. The recycled air entering the drier carries 0.42 kg of liquid per kg of air. The air stream at the exit contains 0.93 kg of liquid per kg of air. If the amount of dried product is 255 kg/h, determine the percentage of air which is recycled.

المثال 3.3

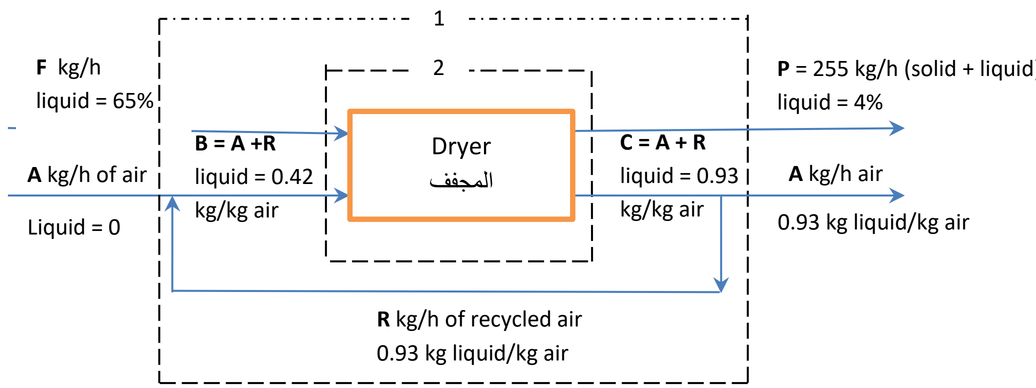
يُجفف خليط من السائل والصلب لتقليل النسبة المؤية الوزنية للسائل من 65% الى 4%. ويُعاد تدوير الهواء الساخن لتوفير بعض إمدادات الطاقة الحرارية لجهاز التجفيف. يحتوي الهواء المعاد تدويره الداخل الى المجفف على 0.42 كغم من السائل لكل كغم من الهواء، ويحتوي تيار الهواء الخارج من المجفف على 0.93 كغم من السائل لكل كغم من الهواء. إذا كانت كمية المُنتج المجفف تساوي 255 كغم في الساعة (255 kg/h)، حدد النسبة المؤية للهواء المعاد تدويره.

Solution

الحل

Basis: 255 kg/h of product

الاساس للحسابات: 255 كغم/ساعة من المنتج



We conduct material balances for the liquid around boundaries 1 and 2. It is clear that the mass flow rate of feed F is equal to the flow rate of product P which is 255 kg/h, and air in = air out = A kg/h.

نقوم بإجراء موازنة المادة للسائل حول الخطوط الحدودية (1) و (2). ومن الواضح ان معدل جريان الخليط الداخل (F) يساوي معدل جريان المُنتج (P) الذي يساوي (255 kg/h)، وان كمية الهواء الداخلة تساوي كمية الهواء الخارجة وهي (A kg/h).

Liquid balance around boundary 1: **موازنة السائل حول الخط الحدودي 1:**

$$F \times 0.65 + A \times 0.0 = P \times 0.04 + A \times 0.93$$

$$255 \times 0.65 = 255 \times 0.04 + A \times 0.93$$

Mass of fresh air A = 167.258 kg = كتلة الهواء الداخل

Balance around boundary 2: **الموازنة حول الخط الحدودي 2:**

$$F \times 0.65 + B \times 0.42 = P \times 0.04 + C \times 0.93$$

$$F \times 0.65 + (A + R) \times 0.42 = P \times 0.04 + (A + R) \times 0.93$$

$$255 \times 0.65 + (167.258 + R) \times 0.42 = 255 \times 0.04 + (167.258 + R) \times 0.93$$

$$165.75 + 70.248 + 0.42\,R = 10.2 + 155.549 + 0.93\,R$$

Mass of recycled air, R = 137.743 kg

% of recycled air = (137.743/167.258) x 100 = <u>82.35%</u> = النسبة المؤية للهواء المعاد تدويره

Comments

1. Material balances are based on equating the materials entering and materials exiting each of the boundaries for a given system.
2. The total mass of recycle stream is the mass of air plus the mass of liquids carried by the air.
3.

الملاحظات

1. تعتمد موازنة المادة على مساواة كميات المواد الداخلة بالمواد الخارجة من كل خط حدودي للمنظومة قيد الدراسة.
2. الكتلة الإجمالية لمجرى إعادة التدوير هي كتلة الهواء بالإضافة إلى كتلة السوائل التي يحملها الهواء.

Exercise

Repeat the solution for the example assuming that the fresh air contains 0.02 kg/kg air liquid. Solve the example manually and then use Excel to verify that the results match.

تمرين

كرر حل المثال مفترضاً ان الهواء المُجهز للمنظومة يحتوي على 0.02 كغم سائل/كغم هواء. قم بحل المثال يدوياً ثم استخدم برنامج الاكسل للتحقق من تطابق النتائج.

Example 3.4

A distillation tower is used to separate Benzene from toluene. The mixture consists of 55 mole % benzene and enters the tower at a rate of 50 kmol/h. The top product contains 98 mole % benzene and the bottom product carries 2 mole % benzene. The **reflux ratio** is 2.45 kmol of recycled product per kmol of top product. Determine the quantity of the top and bottom products and the quantity of liquid recycled.

المثال 3.4

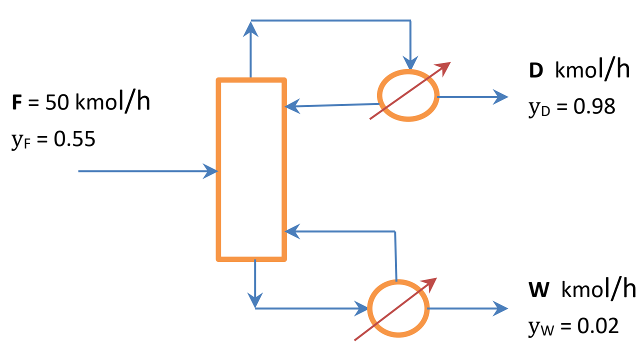
يستخدم برج تقطير لفصل البنزين عن التولوين، حيث يتكون الخليط من 55 % بنزين كسبة مولية. يدخل الخليط إلى البرج بمعدل 50 كمول/ساعة. يحتوي المُنتَج العلوي على 98% بنزين بينما يحمل المُنتَج السفلي 2 % بنزين كنسب مولية. تبلغ **نسبة الارتجاع** 2.45 كيلومول من المنتج المعاد تدويره لكل كيلومول من المنتج العلوي. قم بتحديد كمية المنتج العلوي والمنتج السفلي وكذلك كمية السائل المعاد تدويره للبرج.

Solution

<u>**Basis:**</u> 50 kmo/h

الحل

<u>**الاساس للحسابات:**</u> 50 كيلومول/ ساعة



Flow chart of the distillation tower مخطط البيانات الانسيابي لبرج التقطير

Total material balance: **موازنة المادة الاجمالية:**

$F = D + W$, $50 = D + W$

Material balance for the Benzene: **موازنة المادة للبنزين:**

$F\, x_F = D\, y_D + W\, y_W$

$50 \times 0.55 = D \times 0.98 + W \times 0.02$

$50 \times 0.55 = D \times 0.98 + (50 - D) \times 0.02$

D = <u>27.604 kmol/h</u> Top product المُنتج العلوي

W = 50 –D = 60 – 27.604 = <u>22.396 kmol/h</u> Bottom product المُنتج السفلي

Reflux ratio R = L/D **نسبة الارتجاع**

2.45 = L/27.604

L = <u>67.629 kmol/h</u> The recycled liquid كمية السائل المعاد تدويره

Comments

We can also solve problems similar to the example using units of kg/h for flow rate with mass percentages of the components.

الملاحظات

يمكننا أيضاً حل المسائل المماثلة للمثال باستخدام وحدات كغم/ساعة لمعدل الجريان مع نسب مؤوية كتلية للمكونات.

Exercise

Solve the example based on feed flow rate of 5000 lb_m/h and reflux ratio of 2.5. Take the same values of compositions as mass percentages.

تمرين

حل المثال استناداً الى معدل جريان تغذية بحدود ($5000\ lb_m/h$) ونسبة ارتجاع مقدارها 2.5. اتخذ نفس قيم النسب المؤية المولية كنسب كتلية للمكونات.

3.3 Material Balance for Two Units

Most of the industrial plants include several processing units, and the first step in conducting material balance is to draw the flowchart. We referred to the flowchart and the lines of boundaries in chapter 2. It is also customary to identify or name each unit, and assign specific numbers to flow streams between the units.

Here, we focus on material balance for a system consisting of only two consecutive units. This can be considered as an introduction to multi-unit balances. Let us now look at a typical example:

3.3 موازنة المادة لوحدتين صناعيتين

تشتمل معظم المنشآت الصناعية على عدد من وحدات التصنيع، والخطوة الأولى في اجراء موازنة المادة هي رسم مخطط البيانات الانسيابي. وكنا قد أشرنا إلى رسم مخطط البيانات الانسيابي والى الخطوط الحدودية في الفصل الثاني. ومن المعتاد أيضاً تشخيص او تسمية كل وحدة من وحدات التصنيع، وكذلك منح أرقام معينة لمجاري تدفق المواد بين الوحدات.

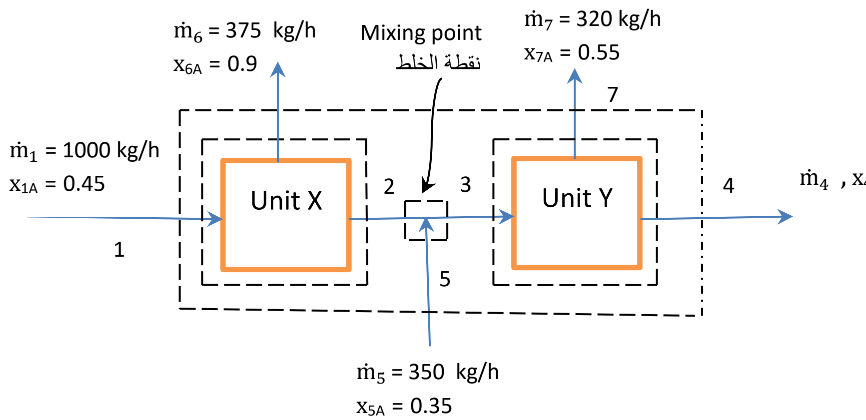
نركز هنا على موازنة المادة للمنظومة المكونة من وحدتين متعاقبتين فقط، ويمكن اعتبار هذه الموازنات كمقدمة تعريفية لموازنات الوحدات المتعددة. دعونا الان نتطرق الى مثال نموذجي؛

Example 3.5

Determine the composition and flow rates of **streams** 2, 3 and 4 indicated on the following flowchart for two successive processing units. The feed contains two components A and B.

المثال 3.5

اوجد مقادير معدل الجريان في **المجاري** 2 و3 و4 المشار إليها في مخطط البيانات الانسيابي لوحدتي تصنيع متعاقبة في ادناه، حيث يحتوي الخليط المغذي على المكونين A وB.



Find:

Values of $\dot{m}_2$, $\dot{m}_3$ and $\dot{m}_4$.

المطلوب:

قيم $\dot{m}_2$ و $\dot{m}_3$ و $\dot{m}_4$.

Solution

The mass fractions of component A are given on the flowchart. The corresponding fraction for component B is calculated by subtracting from 1. Total material balance as well as component balances may be required to solve this problem. Material balance-boundary lines are drawn around the two units and around the individual units as well as the stream junction.

الحل

يتضح في مخطط البيانات الانسيابي قيم الكسور الكتلية للمكون (A)، ويّحسب كل كسر كتلي للمكون (B) عن طريق طرح كسر (A) من الرقم 1. وقد تكون هناك ضرورة إلى موازنة مادة اجمالية اضافة الى موازنات تخص المكونات لحل هذه المسألة. رُسمت خطوط حدودوية لغرض اجراء موازنات المادة حول الوحدتين وحول الوحدات الفردية وكذلك حول نقطة تقاطع المجارى.

<u>**Basis:**</u> 1000 kg/h

<u>**الاساس للحسابات:**</u> 1000 كغم/ساعة

Overall total material balance **موازنة المادة الاجمالية الشاملة للوحدتين:**

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_5 = \dot{m}_4 + \dot{m}_6 + \dot{m}_7$$

$$1000 + 350 = \dot{m}_4 + 375 + 320$$

$$\dot{m}_4 = 655 \text{ kg/h}$$

Overall balance for component A: **الموازنة الشاملة للمكون (A):**

$$\dot{m}_1 x_{1A} + \dot{m}_5 x_{5A} = \dot{m}_4 x_{4A} + \dot{m}_6 x_{6A} + \dot{m}_7 x_{7A}$$

$$1000 \times 0.45 + 350 \times 0.35 = 655 x_{4A} + 375 \times 0.9 + 320 \times 0.55$$

$$450 + 122.5 = 655 x_{4A} + 337.5 + 176$$

$$x_{4A} = \underline{0.090}$$

Total balance for unit X: **الموازنة الاجمالية للوحدة (X):**

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_6$$

$$1000 = \dot{m}_2 + 375$$

$$\dot{m}_2 = 625 \text{ kg/h}$$

Component A balance for unit X: **موازنة المكون (A) للوحدة (X):**

$$x_{1A} \dot{m}_1 = x_{2A} \dot{m}_2 + x_{6A} \dot{m}_6$$

$$0.45 \times 1000 = x_{2A} \times 625 + 0.9 \times 375$$

$$x_{2A} = \underline{0.18}$$

Balance around the mixing point: **موازنة المادة حول نقطة الخلط:**

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_5 = \dot{m}_3$$

$$625 + 350 = \dot{m}_3$$

$$\dot{m}_3 = 975 \text{ kg/h}$$

$$x_{2A}\,\dot{m}_2 + \dot{m}_5\,x_{5A} = \dot{m}_3\,x_{3A}$$

$$0.18 \times 625 + 0.35 \times 350 = 975\,(x_{3A})$$

$$x_{3A} = \underline{0.241}$$

Comments

As the number of processing units increases, the material balance becomes more complex, making a computer solution more suitable.

الملاحظات

في حالة ازدياد عدد الوحدات الصناعية تصبح موازنة المادة أكثر تعقيداً، مما يجعل الحل بواسطة الكومبيوتر اكثر ملائمة.

Exercise

a- Solve the example using Excel.

b- If the feed is made up of components A and B, solve the example using molar quantities. $MW_A = 18$, $MW_B = 40$. (Covert mass and mass fractions to molar values).

تمرين

أ- قم بحل المثال مستخدماً برنامج الاكسيل.

ب- إذا كان خليط التغذية مكون من المكونين A وB، حل المثال باستخدام الكميات المولية، علماً ان $W_A = 18$, $MW_B = 40$.
(حول قيم الكتلة والنسب الكتلية الى ما يعادلها بالمولات).

3.4 Multi-Units with Bypass

A good example of an industrial production line that includes a bypass is the producing of crystals by evaporation of a liquid mixture, followed by crystallization and filtration. In this system, part of the filtered solution is recycled to maximize the crystal formation process. In fact, many salts are produced by crystallisation including sodium chloride, potassium chromate, potassium carbonate and ammonium sulphate. Let us now look at an example of conducting material balance for a similar system.

3.4 الوحدات المتعددة بوجود ممر التجاوز

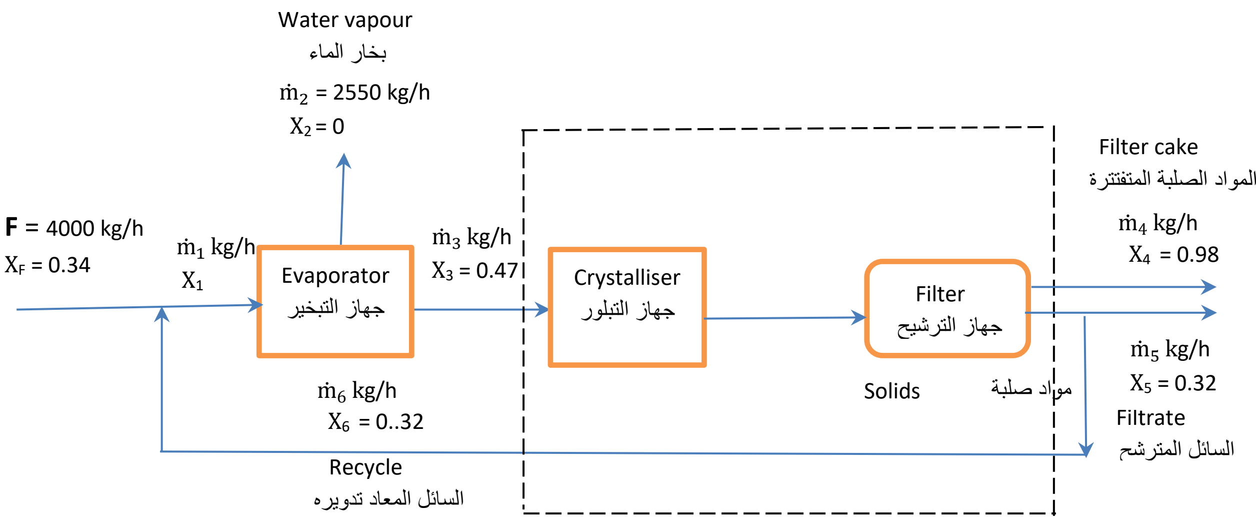
تُعد عملية انتاج البلورات عن طريق تبخير خليط من السوائل يليه عملية تبلور ثم الترشيح من الأمثلة الجيدة لخط انتاج صناعي يشمل ممراً جانبياً للتجاوز. ففي هذه المنظومة يعاد تدوير جزء من المحلول المترشح لتعظيم عملية تكوين البلورات. وفي واقع الحال يتم انتاج العديد من الأملاح عن طريق التبلور بما في ذلك كلوريد الصوديوم وكرومات البوتاسيوم وكربونات البوتاسيوم وكبريتات الأمونيوم. دعونا الآن نتطرق الى مثال يخص اجراء موازنة المادة لمثل هذه المنظومة.

Example 3.6

المثال 3.6

For the flow chart of crystallising potassium carbonate shown below, determine the **recycle ratio**.

اوجد **نسبة اعادة التدوير** لعملية تبلور كاربونات البوتاسيوم الموضحة في مخطط البيانات الانسيابلي ادناه.



F = Feed flow rate of KCO_3 solution

F = معدل جريان محلول مادة (KCO_3)

$\dot{m}$ kg/h = mass flow rate

X = mass fraction of potassium carbonate

$\dot{m}$ kg/h = معدل الجريان الكتلي

X = الكسر الكتلي لكاربونات البوتاسيوم

Solution

الحل

<u>**Basis:**</u> 4000 kg/h

<u>**الاساس للحسابات:**</u> 4000 كغم/ساعة

Overall total material balance: **موازنة اجمالية للمنظومة باكملها:**

$$F = \dot{m}_2 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5$$

$$4000 = 2550 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5$$

$$1450 = \dot{m}_4 + \dot{m}_5 \qquad \text{(a)}$$

Overall balance for solids ($(KCO)_3$) **موازنة للمواد الصلبة:**

$$F\,x_F = \dot{m}_2\,x_2 + \dot{m}_4\,x_4 + \dot{m}_5\,x_5$$

$$4000 \times 0.34 = \dot{m}_4 \times 0.98 + \dot{m}_5 \times 0.32 \qquad \text{(b)}$$

Solving equations (a) and (b) gives: يمنح حل المعادلتين (a) و (b) الآتي:

$$4000 \times 0.34 = (1450 - \dot{m}_5)\,0.98 + 0.32\,\dot{m}_5$$

$\dot{m}_5$ = 92.424 kg/h

$\dot{m}_4$ = 1450 - 92.424 = 1357.576 kg/h

Total balance for the crystalliser and filter together:

الموازنة الكلية لجهازي التبلور والترشيح معاً:

$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_5 + \dot{m}_6$

$\dot{m}_3$ =1357.576 + 92.424 + $\dot{m}_6$

$\dot{m}_3$ = 1450 + $\dot{m}_6$

$\dot{m}_3\ x_3 = \dot{m}_4\ x_4 + \dot{m}_5\ x_5 + \dot{m}_6\ x_6$

$\dot{m}_3$ x 0.47 = 1357.576 x 0.98 + 92.424 x 0.32 + $\dot{m}_6$ 0.32

Substitution yields; ينتج عن التعويض مايلي:

(1450 + m_6) 0.47 = 1330.424 +29.575 + 0.32 $\dot{m}_6$

$\dot{m}_6$= 4523.326 kg/h

The **recycle ratio** = recycle flow rate/ feed flow rate

The recycle ratio = 4523.326/4000 = 1.130 نسبة اعادة التدوير

Exercise

Conduct a material balances for the mixing point and around the evaporator to find $\dot{m}_1$ and x_1.

تمرين

قم باجراء موازنة المادة لنقطة الخلط وكذلك حول جهاز التبخير لايجاد ($\dot{m}_1$) و (x_1)

3.5 Material Balance with Chemical Reactions

In most processing industries, the **chemical reactor** is the main unit that provide the desired products. For example, in the production of fertilisers, the urea reactor is the essential part of the plant. Naturally, there are industrial units to prepare the feed and other units to rectify the product to the right specifications. Material balance depends on the type of chemical reaction, and obviously balances of multiple reactions are the morst comlex.

3.5 موازنـــة المـــادة بوجـــود التفـــاعلات الكيميائية

يُعد **المفاعل الكيميائي** الوحدة الصناعية الرئيسية لتوفير المنتجات المرغوب بها قي معظم المصانع الانتاجية. فمثلاً يشكل مفاعل اليوريا الجزء الأساسي في مصنع إنتاج الأسمدة. وبطبيعة الحال، هناك عمليات وحدات صناعية تعمل على إعداد وتجهيز المواد المغذية للمفاعل ووحدات اخرى تقوم بتصفية اللمنتجات للحصول على المواصفات المطلوبة. تعتمد موازنة المادة على طبيعة التفاعل الكيميائي، ومن البديهي ان موازنات التفاعلات المتعددة هي الاكثر تعقيداً.

To deal with reactors, we first need to understand the principles of reaction **stoichiometry**.

3.5.1 Stoichiometry

Stoichiometry *is the chemistry concept that helps to determine the relationship between quantities of* ***reactants*** *and* ***products*** *of a chemical reaction.* The relationship is based on the equality of the number of molecules of each element in the reactants with the number of its molecules in the products. Thus, a stoichiometric equation is in fact a balanced chemical reaction. Let us consider the reaction of oxygen with hydrogen to form water,

$$O_2 + 2H_2 \rightarrow 2H_2O$$

The balanced equation indicates that every molecule of oxygen reacts with two molecules of hydrogen to form two molecules of water. The number that proceed the element symbol is known as **stoichiometric coefficient**. We know for a fact that the mole contains a fixed number of molecules (Avogadro's number = 6.022×10^{23}), so the stoichiometric coefficients also reflect the number of moles for the reactants and products. Thus according to the reaction equation, 1 mole of oxygen reacts with 2 moles of hydrogen to produce 2 moles of water. The ratio of the stoichiometric coefficients of two component for a balanced chemical reaction is called the **stoichiometric ratio**. The ratio of oxygen to water in the above reaction is 2:1, and hydrogen to water is 2:2.

If two or more reactants are fed to a chemical reactor at the stoichiometric ratio, the components are said to be in **stoichiometric proportion**. If the reaction proceeds to completion, reactants are completely consumed. However as the reaction proceed to completion, the reactant first consumed is known as the **limiting reactant**, and any reactant that remains is

وقبل التطرق الى موازنة المادة للمفاعلات يتعين علينا اولاً فهم مبدأ **تكافؤ العناصر الكيميائية** للتفاعلات الكيميائية.

3.5.1 تكافؤ العناصر الكيميائية

يمكن تعريف مبدا تكافؤ العناصر الكيميائية *على انه مفهوم في علم الكيمياء يحدد العلاقة بين كميات* ***المواد المتفاعلة ومنتجات التفاعل الكيميائي.*** تستند علاقة التكافؤ الى مساواة عدد جزيئات كل عنصر من المواد المتفاعلة بعدد جزيئاته في منتجات التفاعل. بمعنى آخر، المعادلة المتكافئة هي في الواقع صيغة للتفاعل الكيميائي المتوازن. دعونا الآن ننظر في تفاعل الأوكسجين مع الهيدروجين لتكوين الماء،

تشير المعادلة المتوازنه إلى أن كل جزيئة من ألاوكسجين تتفاعل مع جزيئين من الهايدروجين لتكوين جزيئين من الماء. ويسمى الرقم الذي يسبق العنصر **مُعامِل التكافؤ**. نعلم يقينًا أن المول تحتوي على عدد ثابت من الجزيئات يساوي رقم أفوغادرو (6.022×10^{23})، وعليه فإن معاملات التكافؤ تعكس ايضاً عدد المولات لعناصر التفاعل ومنتجاته. وهكذا يتضح من معادلة التفاعل بأن 1 مول من الأكسجين تتفاعل مع 2 مول من الهيدروجين لإنتاج 2 مول من الماء. تسمى نسبة معامِلات التكافؤ لاي مكونين في التفاعل الكيميائي المتوازن **نسبة العناصر المتكافئة**. فعلى سبيل المثال، نسبة تكافؤ الأوكسجين إلى الماء في التفاعل اعلاه هي 1 :2 والهيدروجين إلى الماء 2:2.

في حالة تغذية مادتين أو أكثر من المواد المتفاعلة إلى المفاعل الكيميائي بنسبة متكافئة، تصبح المكونات في حالة **تناسب متكافئ**. وإذا استمر التفاعل حتى الاكتمال، فستسهلك المواد المتفاعلة تماماً. ولكن عندما لا يكتمل التفاعل، بل يتقدم نحو الاكتمال، فإن المادة المتفاعلة التي يتم استهلاكها أولاً تُسمى

called the **limiting reactant** and the other reactant is termed the **excess reactant**. A speicies *is* a limiting reactant if it is present in less than the stoichiometric amount relative to each of the other reactants. For example the reaction of oxygen and methane,

المتفاعل المحدد او المادة المتفاعلة المحددة. بينما يطلق على المادة المتفاعلة الاخرى اسم **المتفاعل الفائض** او المادة المتفاعلة الفائضة. يّعد العنصر عنصراً متفاعلاً محدداً اذا كان موجوداً بكمية أقل من كمية التكافؤ بالنسبة لكل من المتفاعلات الأخرى. على سبيل المثال، تفاعل الأكسجين والميثان،

$$2O_2 + CH_4 \rightarrow 2H_2O + CO_2$$

Oxygen is the excess reactant because it is supplied from air in excess of the stoichiometric requirement. Thus, methane is the limiting reactant because it is consumed first. Suppose that the feed consists of 70% oxygen. Based on 100 kmol, 70 mole of oxygen requires 35 kmols of CH_4 according to the reaction equation. There are only 30 kmols of methane in the feed, therefore methane will be consumed first and will be the limiting reagent. The **percentage access** of a reactant A is defined as: *the ratio of the number of moles of A supplied $(n_A)_{supllied}$ minus the number of theoretical or stoichiometric moles required $(n)_{stoich}$ to the number of stoichiometric moles required $(n)_{stoich}$*.

الأوكسجين هو المتفاعل الفائض، لأنه يُستحصل من الهواء بكميات تزيد عن متطلبات التكافؤ الكيميائي، وعليه يكون الميثان المتفاعل المحدد لانه يُستهلك اولاً. لنفترض ان خليط التغذية يحتوي على 70% أوكسجين، فعلى أساس 100 كيلومول وحسب معادلة التفاعل الكيميائي سيتطلب كل 70 كيلومول من الأوكسجين 35 كيلومول من (CH_4). ولكن لا يوجد سوى 30 كيلومول من الميثان في التغذية، لذا نتوصل الى حقيقة ان الميثان هو المتفاعل المحدد لانه يستهلك قبل الاوكسيجين. يمكن تعريف **النسبة المئوية للفائض** إلتي تخص المادة المتفاعلة A على أنها: *نسبة عدد مولات A المجهزة للمفاعل [$(n_A)_{supllied}$] مطروحاً منها عدد المولات اللازمة وفقاً لتكافؤ العناصر [$(n)_{stoich}$] إلى عدد المولات اللازمة وفقاً لتكافؤ العناصر [$(n)_{stoich}$].*

$$\%\ \text{excess of A} = \frac{(n_A)\text{supllied} - (n_A)\text{stoich}}{(n_A)\text{stoich}} \times 100 \qquad (3.1)$$

3.5.2 Conversion and Yield

3.5.2 التحويل والانتاجية

Let us consider a chemical reaction between A and B to form C.

لنتخذ التفاعل الكيميائي بين A وB لتكوين C،

$$A + B \rightarrow C$$

If conversion of the limiting reactant B does not proceed to completion, and therefore some of B remains in the products, the **conversion** can be defined as follows:

في حالة عدم استمرار التفاعل لاستكمال تحويل المادة المتفاعلة المحددة B، اي يبقى بعض منها في المنتوجات، يمكننا تعريف **التحويل** على النحو التالي :

Conversion = *number of moles of limiting reactant B reacted divided by the number of moles of B in the feed*, and **percentage conversion** is

التحويل = *عدد مولات المادة المتفاعلة المحددة (B) مقسوماً على عدد مولاته في خليط التغذية,* **والنسبة المؤية للتحويل** هي

$$\%\ \text{conversion} = \frac{\text{Moles of B reacted}}{\text{Moles of B in the feed}} \times 100 \qquad (3.2)$$

If 200 moles of B are fed to the reactor and only 90 moles react, the % conversion of b is

فاذا أدخلت 200 مول من (B) الى المفاعل، وتفاعل منها 90 مول فقط،، تصبح النسبة المؤية للتحويل

$$\%\ \text{conversion} = \frac{90}{200} \times 100 = 45\%$$

Yield may be defined *as the actual number of moles of desired product formed divided by the number of moles of product would be formed based on complete consumption of the limiting reactant*; that is for `100% conversion.

يمكن تعريف **الانتاجية** *على أنها عدد مولات المنتج المرغوب الحصول عليه مقسومة على عدد مولات المنتج التي قد تتولد بناءً على الاستهلاك الكامل للمادة المتفاعلة المحددة*، اي عندما تكون نسبة التحويل 100%.

$$\%\text{Yeild} = \frac{\text{Moles of } \mathit{actual} \text{ desired product formed}}{\text{Moles of desired product would be formed when the limiting reagent is completely consumed}} \times 100$$

For example:

على سبيل المثال:

$$A + B \rightarrow C + D$$

Assign B to be the limiting reactant and D is the desired product. If 100 moles of B are fed to the reactor and to form 40 moles of D, the yield is

نفترض ان (B) هى المادة المتفاعلة المحددة و(D) هو المُنتَج المطلوب. فإذا تم تغذية 100 مول من (B) إلى المفاعل لتكوين 40 مول من (D)، تُحسب الانتاجية كما يلي

$$\%\text{Yield} = 40/100 \times 100 = 40\%$$

Note that, the amount of desired product is 40 moles. However, according to stoichiometry 1 mole of A reacts with 1 mole of B to form 1 mole of C and 1 mole of D, thus the amount of D would be formed theoretically is 100.

Another definition of yield is based on the amount of limiting reactant fed to the reactor. We will use the above definition, because it covers the yield for more than one reaction inside the chemical reactor.

لاحظ ان كمية المنتج المرغوب تكوينها هي 40 مول، ولكن وفقاً لمبدأ تكافؤ العناصر الكيميائية للتفاعل الكيميائي، يتفاعل 1 مول من (A) مع 1 مول من (B) لتكوين 1 مول من (C) و1 مول من (D)، وعليه فإن كمية (D) المتوقع تكوينها نظرياً هي **100**.

وهناك تعريف آخر للانتاجية يستند الى كمية المادة المتفاعلة المحددة التي تدخل الى المفاعل. لكن, سوف نستخدم التعريف المذكور اعلاه، لأنه يغطي تقييم الانتاجية لأكثر من تفاعل داخل المفاعل الكيميائي.

Example 3.7

المثال 3.7

Write down the equation for the reaction of hydrogen with nitrogen to form ammonia.

1. Balance the equation.
2. If 100 kmol/h mixture containing 50 mole % H_2 is supplied to the reactor, identify the limiting reactant.
3. What are the stoichiometric coeffic-ients?
4. Calculate the stoichiometric ratios.

اكتب معادلة تفاعل الهايدروجين مع النايتروجين لتكوين الأمونيا.

1. قم بموازنة المعادلة.
2. إذا زود المفاعل بخليط معدل جريانه يساوي 100 كيلومول/ساعة يحتوي على 50 مول % من H_2، فما هو المتفاعل المحدد؟
3. ما هي قيم معاملات التكافؤ؟
4. احسب نسب العناصر المتكافئة.

5. Ammonia is produced by feeding 260 kmol/h of a mixture of nitrogen and hydrogen to the reactor. If the mole fraction of nitrogen in feed is 0.3 (30%), determine the percentage conversion of hydrogen and the percentage yield of ammonia to produce 70 kmol/h of desired product.

5. تُنتج الأمونيا عن طريق تغذية 260 كمول/ساعة من خليط غازات النايتروجين والهايدروجين إلى المفاعل. إذا كان الكسر المولي للنايتروجين في الخليط يساوي 0.3 اي (30%)، حدد النسبة المؤية لتحويل الهايدروجين والنسبة المؤية لانتاجية الامونيا للحصول على 70 كمول/ساعة من المُنتَج المطلوب.

Solution

الحل

The chemical reaction equation is

معادلة التفاعل الكيميائي هي

$$N_2 + H_2 \rightarrow NH_3$$

1. Balancing the equation

1. موازنة المعادلة

Reactants المواد المتفاعلة	Products المنتجات
2 atoms of nitrogen (2 ذرة من النايتروجين)	1 atom of nitrogen (1 ذرة من النايتروجين)
2 atoms of hydrogen (2 ذرة من الهايدروجين)	3 atoms of hydrogen (3 ذرة من الهايدروجين)

To balance the nitrogen, we multiply the ammonia by 2. As a result the hydrogen atoms of the ammonia increase to 6. So we multiply the hydrogen by 3 to balance the equation.

لموازنة عدد ذرات النايتروجين، نضرب الأمونيا بالعدد 2، ونتيجة لذلك تزداد ذرات الهايدروجين في الأمونيا إلى 6، لذلك نضرب الهيدروجين بالعدد 3 فتتوازن المعادلة.

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

2. Limiting reactant

2.المتفاعل المحدد

<u>**Basis:**</u> 100 kmol/h

<u>**الاساس للحسابات**</u> 100 كيلومول/ساعة

H_2 in feed = (50/100) x 100 = 50 kmol/h معدل جريان الهايدروجين الداخل

N_2 in feed = 100 - 50 = 50 kmol/h معدل جريان النايتروجين الداخل

According to stoichiometry, 1 mole of N_2 reacts with 3 moles of H_2.

يتفاعل1 مول من النايتروجين مع 3 مول من الهايدروجين وفقاً لمبدأ لتكافؤ العناصر

Thus 50 kmol/h of N_2 requires 3 x 50 = 150 kmol of H_2

Since we only have 50 of H_2, the <u>limiting reactant in is</u> <u>hydrogen</u>.

ولما كانت كمية الهيدروجين تساوي 50 مول فقط،، لذا يٌعد <u>الهايدروجين المتفاعل المحدد.</u>

3. The stoichiometric coefficients

3. معاملات التكافؤ

For nitrogen = 1, for hydrogen = 3 and for ammonia = 2

النايتروجين = 1 ، الهايدروجين = 3 ، الامونيا = 2

4. Stoichiometric ratios

4. نسب العناصر المتكافئة

$$\frac{2\ \text{mole NH}_3}{1\ \text{mole N}_2}\ ,\ \frac{2\ \text{mole NH}_3}{3\ \text{mole H}_2}$$

5. Conversion and yield

5. ايجاد التحويل والانتاجية

Basis: 260 kmol of feed

الاساس للحسابات: 260 كيلومول من الخليط المغذي

$$\%\ \text{conversion} = \frac{\text{Moles of limiting reagent reacted}}{\text{Moles of limiting reagent in the feed}} \times 100 \qquad \text{(Eqn. 3.2)}$$

$\dot{n}_{N2}$ in feed = 0.3 x 260 = 78 kmol/h

$\dot{n}_{H2}$ in the feed = 260 – 78 = 182 kmol/h (H_2 is limiting reactant, 78 kmol of N_2 requires 78x3 H_2)

½ N_2 + 3/2 H_2 → NH_3 , 1 mole NH_3 requires 3/2 moles H_2, 60 moles NH_3 requires 60 x (3/2) moles

$\dot{n}_{H2}$ reacted = 60 x (3/2) = 90 kmol/h of H_2

$$\%\ \text{conversion} = \frac{\dot{n}_{H2}\ \text{reacted}}{\dot{n}_{H2}\ \text{in feed}} \times 100$$

$$\%\ \text{conversion} = \frac{90}{182} \times 100 = \underline{49.45\%}$$

النسبة المئوية للتحويل

Calculation of the percentage yield of ammonia:

تقييم النسبة المؤية للحصيلة:

The desired amount of (NH_3) is 70 kmol/h

كمية الامونيا المرغوب توليدها هي

Amount of (NH_3) when 182 kmol/h of limiting reactant (H_2) is completely consumed:

كمية الامونيا عندما يستهلك 128 كيلو مول/ساعة من المتفاعل المحدد اي الهايدروجين تماماً:

½ N_2 + H_2 → 2/3 NH_3 , 182 H_2 → 2/3 180 x NH_3 , NH_3 = 121.333 kmol/h.

Comments

الملاحظات

The example was set for clarification of terms and concepts regarding stoichiometry. The conditions prevailing during the reaction may affect the conversion and yield.

وضعَ المثال لتوضيح المصطلحات والماهيم التي تخص تكافؤ العناصر الكيميائية. وقد تؤثر الظروف السائدة اثناء التفاعل على قيم التحويل والانتاجية.

3.5.3 Extent of Reaction & Selectivity

The **extent of a reaction** *is a measure of the progress of the reaction*; it is denoted by the Greek letter Zeta (ζ) and its units are the number of moles reacting. It is determined by dividing the change in number of moles of **species** i during a reaction by the stoichiometric coefficient of the species.

3.5.3 مدى تقدم التفاعل والانتقائية

يُعد **مدى تقدم التفاعل** *مقياساً لمضي او تقدم التفاعل*؛ يرمز له بالحرف اليوناني زيتا (ζ) ووحداته هي عدد المولات المتفاعلة. تُحدد قيمته عن طريق قسمة التغير الحاصل في عدد مولات **العنصر** (i) أثناء التفاعل على معامل التكافؤ للعنصر.

$$\zeta = \frac{n_{i,final} - n_{i,initial}}{\nu_i} \qquad (3.3)$$

$n_{i,initial}$ = number of moles of species i present at the start of the reaction

$n_{i,final}$ = number of moles of species i present after the the reaction is complete

ν_i = stoichiometric coefficient for species i

ζ = extent of reaction

$n_{i,initial}$ = عدد مولات االعنصر (i) الموجدة في بداية التفاعل

$n_{i,final}$ = عدد مولات العنصر (i) بعد انتهاء التفاعل

ν_i = معامل التكافؤ للعنصر i

ζ = مدى تقدم التفاعل

Note that in any chemical reaction, the stoichiometric coefficients of the products are assigned positive signs and the reactants negative signs. For example if 30 kmol of hydrogen reacted with 10 kmol of nitrogen to produce 20 kmol of ammonia, the extent of the reaction can be based on the product which is the ammonia.

لاحظ انه في اي تفاعل كيميائي، تتخذ معاملات التكافؤ اشارات إيجابية للمنتجات وسلبية للمواد المتفاعلة. فعلى سبيل المثال، إذا تفاعل 30 كيلومول من الهايدروجين مع 10 كيلومول من النايتروجين لإنتاج 20 كيلومول من الأمونيا، يمكننا أن نحسب مدى تقدم التفاعل استاداً الى المُنتَج، اي الأمونيا.

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

$$n_{NH3,\,initial} = 0.0 \quad , \quad n_{NH3,\,final} = 20$$

Stoicheometric coefficients: $\nu_{N2} = -1$, $\nu_{H2} = -3$, $\nu_{NH3} = +2$:معاملات التكافؤ

The extent of reaction based on ammonia: :مدى تقدم التفاعل استناداً الى الامونيا

$$\zeta = \frac{n_{i,final} - n_{i,initial}}{\nu_i} = \frac{0.00-2}{2} = 10 \text{ kmol reacting} \qquad \text{(Eqn 3.3)}$$

<u>Note:</u> actually, the equaion for extent of reaction has the same value for any of the species of the reaction. It can also be based on molar flow rates.

<u>ملاحظة:</u> في الواقع يتخذ مدا تقدم التفاعل نفس القيمته لاي من عناصر التفاعل الكيميائي. ويمكن أن تستند معادلة مدى تقدم التفاعل الى معدلات الجريان المولية ايضاً.

For example for H_2:

مثلا لعنصر الهايدروجين:

$$\zeta = \frac{n_{H2,final} - n_{H2,initial}}{\nu_{H2}} = \frac{0.00-30}{-3} = 10 \text{ kmol reacting}$$

We can therefore rearrange equation (3.3) to calculate the final number of moles ($n_{i,final}$) or final molar flow rates for any other component from the known value of the extent of reaction ζ .

وهكذا يمكننا إعادة ترتيب المعادلة (3.3) لحساب العدد النهائي للمولات ($n_{i,final}$) (أو حساب معدلات الجريان النهائية) لأي مكون آخر استناداً الى القيمة المعلومة لمدى تقدم التفاعل (ζ).

$$n_{i,final} = n_{i,initial} + \zeta \nu_i \quad \text{or} \quad \dot{n}_{i,final} = \dot{n}_{i,initial} + \zeta \nu_i \qquad (3.4)$$

Apply to the nitrogen;

$$n_{N2,final} = n_{N2,initial} + \zeta \ \nu_{n2}$$

Substituting the value:

$$n_{N2,final} = 10 + (10 \times -1) = 0.0 \text{ kmol}$$

The extent of reaction can also be used to determine the limiting reactant. The lowest value of ζ_i based on complete conversion of the elements indicates the limiting reactant.

نستطيع ايضاً استخدام مدى تقدم التفاعل لمعرفة المادة المتفاعلة المحددة، حيث ان أدنى قيمة لـ (ζ_i) استناداً الى التحويل الكامل للعناصر تشير الى المادة المتفاعلة المحددة.

Note: the presence of an **inert gas** such as argon, neon and helium, in gas reactions does not change the concentration of the reactants or products. This is because inert gases do not participate in chemical reactions.

ملاحظة: ان وجود **الغاز الخامل** مثل الأركون والنيون والهيليوم في تفاعلات الغازات لايغير تركيز المواد المتفاعلة ولا تركيز منتجات التفاعل، وذلك لان الغازات الخاملة لا تشارك في التفاعلات الكيميائية.

Selectivity

ألأنتقائية

Selectivity is related to two or more reactions taking place in the reactor. In this case the reaction that produces the desired product dominates, and the side reactions form undesirable products or biproducts. *The ratio of the amount of desired product to the amount of an undesired product is called* ***selectivity****.*

ترتبط الانتقائية بحدوث تفاعلين أو أكثر في المفاعل الكيميائي. وفي هذه الحالة، يهيمن التفاعل الذي يخص المُنتج المرغوب به، وتشكل التفاعلات الجانبية منتجات غير مرغوب بها او نواتج عرضية. *وتسمى نسبة كمية المُنتج المرغوب به إلى كمية احد المنتجات غير المرغوب بها* ***الانتقائية****.*

$$\text{Selectivity} = \frac{n_{\text{desired product}}}{n_{\text{undesired product}}} \qquad (3.5)$$

Example 3.8

المثال 3.8

Consider the two gas phase reactions for ethane in a chemical rector to produce ethylene:

تأمل تفاعلي الطور الغازي للايثان في مفاعل كيميائي يستخدم لانتاج الاثلين:

$$C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 + H_2$$

$$C_2H_6 + H_2 \rightarrow 2CH_4$$

The product gas analysis in mole%:

النسب المؤية المولية لتحليل غاز منتجات التفاعل:

C_2H_6 = 28%
C_2H_4 = 35%
H_2 = 15 %
CH_4 = 22%

Assuming only C_2H_6 and H_2 were present at the start of the reaction, determine the value of:

a – Stoichiometric ratios for both reactions
b- Limiting and access reactants
c- Conversion of C_2H_6 to CH_4
d- Yield of C_2H_4 based on moles of C_2H_6 reacted
e- Extent of each reaction
f- Selectivity of C_2H_4 relative to CH_4

بافتراض وجود (C_2H_6) و(H_2) فقط في بداية التفاعل، اوجد قيمة كل من :

أ- نسب العناصر المتكافئة لكلا التفاعلين
ب- العنصر المحدد والعنصر الفائض
ج. نسبة التحويل لغاز (C_2H_6) الى غاز (CH_4)
د- الانتاجية لغاز (C_2H_4) استناداً الى المولات المتفاعلة من (C_2H_6)
ح- مدى تقدم كل من التفاعلين
خ- الانتقائية لغاز (C_2H_4) نسبةً الى غاز (CH_4)

Solution

الحل

Basis: 100 kmol of products

الاساس للحسابات: 100 كيلو مول من المنتجات

a- Stoichiometric ratios

أ- نسب العناصر المتكافئة

For reaction 1 التفاعل 1

$$\frac{1\ \text{mole}\ C_2H_4}{1\ \text{mole}\ C_2H_6}\ ,\ \frac{1\ \text{mole}\ H_2}{1\ \text{mole}\ C_2H_6}$$

For reaction 2 التفاعل 2

$$\frac{2\ \text{mole}\ CH_4}{1\ \text{mole}\ C_2H_6}\ ,\ \frac{2\ \text{mole}\ CH_4}{1\ \text{mole}\ H_2}$$

b- Limiting and access reactants

ب- العنصر المحدد والعنصر الفائض

The amount of each component in products:

كمية كل مكون في المنتجات:

C_2H_6 = 28 kmol
C_2H_4 = 35 kmol
H_2 = 15 kmol
CH_4 = 22 kmol

The limiting reactant is the species consumed first completely. The lower value of extent of reaction when the reaction is completed also indicates the limiting reactant.

المادة المتفاعلة المحددة هي االتي تُستهلك أولاً. كما تشير القيمة المنخفضة لمدى تقدم التفاعل عند اكتمال التفاعل الى المادة المتفاعلة المحددة.

First reaction التفاعل الاول

There is only one reactant and therefore ethane is the limiting reactant because when this component is consumed, there will be no more products formed. There is no excess reactant in this reaction.

توجد مادة متفاعلة واحدة فقط لذا فإن الإيثان هو المتفاعل المحدد، وذلك لأنه عندما يستهلك هذا المكون لن يتولد المزيد من المنتجات. وعليه لا يوجد متفاعل فائض في هذا التفاعل.

Second reaction التفاعل الثاني

The number of moles of reactants: عدد مولات المولد المتفاعلة:

22 kmols CH_4	1 kmol C_2H_6
	2 kmol CH_4

22 kmol CH_4	1 kmol H_2
	2 kmol CH_4

Both reactants have the same number of moles reacting according to stoichiometry. However, there are 28 kmol of ethane remaining in the products compared to 15 kmol of hydrogen Thus, ethane is the excess reactant and hydrogen is the limiting reactant.

وفقًا لمفهوم تكافؤالعناصر الكيميائية، كلا المتفاعلين يمتلكان نفس عدد المولات المتفاعلة. ومع ذلك، يتبقى في المنتجات 28 كيلو مول من الإيثان مقارنة بـ 15 كيلو مول من الهيادروجين، ولذلك يُعد **الايثان المتفاهل الفائض والهايدروجين هو المتفاعل المحدد**.

c- Conversion of C_2H_6 to CH_4

ج- نسبة التحويل لغاز (C_2H_6) الى غاز (CH_4)

Moles of ethane reacted in the first reaction: عدد موالات الايثان المتفاعلة في التفاعل 1 :

$$\frac{35\ C_2H_4 \mid 1\ kmol\ C_2H_6}{\mid 1\ kmol\ C_2H_4} = 35\ kmol$$

Moles of ethane reacted in reaction 2 is 11 kmol عدد مولات الايثان المتفاعلة في التفاعل 2 هي

Total ethane in feed = C_2H_6 reacted in both reactions + C_2H_6 excess in products:

كمية الايثان الاجمالية الداخلة للمفاعل = عدد المولات لغاز (C_2H_6) المتفاعلة في كلا التفاعلين + الفائض في المنتجات:

Total C_2H_6 = 35 + 11 + 28 =74 kmol

$$\text{Conversion} = \frac{\text{Moles of ehane reacted}}{\text{Moles of ethane in the feed}} = \frac{11}{74} = 0.1486$$ = التحويل

$$\%\ \text{conversion} = \frac{11}{74} \times 100 = \underline{14.86\%}$$ = النسبة المؤية للتحويل

d- Yield of C_2H_4 based on C_2H_6

د- الانتاجية لغاز (C_2H_4) استناداً الى (C_2H_6)

Yield is the amount of desired product (ethylene) divided by the total amount of ethane reacted.

الانتاجية هي كمية المُنتج المرغوب الحصول عليه (الاثلينن) مقسومة على اجمالي كمية الايثان المتفاعلة.

Yield = (Desired moles ethylene/total moles of reacted ethane)

Yield = (35/(35 +11) =0.7608

%Yield = (35/(35 +11) x100 = <u>76.08%</u>

e- Extent of each reaction ζ of C_2H_6

ح- مدى التقدم لكل من التفاعلين

First reaction: التفاعل الاول:

$$\zeta = \frac{n_{i,final} - n_{i,initial}}{\nu_i} \quad \text{(Eqn. 3.3)}$$

$$\zeta = \frac{n_{C2H6,final} - n_{C2H6,initial}}{\nu_{C2H6}} = \frac{35-0}{1} = 35$$

Second reaction: التفاعل الثاني:

$$\zeta = \frac{n_{C2H6,final} - n_{C2H6,initial}}{\nu_{C2H6}} = \frac{14-0}{1} = 14$$

f- **Selectivity of C_2H_4 relative to CH_4**

خ- الانتقائية لغاز (C_2H_4) بالنسبة الى غاز (CH_4)

$$\text{Selectivity} = \frac{n_{desired\ product}}{n_{undesired\ product}} \qquad \text{(Eqn. 3.5)}$$

$$\text{Selectivity} = \frac{n_{C2H4}}{n_{CH4}} = \frac{35}{28} = 1.25$$

Exercise

Solve the example for the following gravimetric analysis. Mass fow rate of feed = 3200 kg/h.

تمرين

كرر حل المثال متخذاً معدل الجريان الكتلي للخليط المغذي = 3200 كغم/ساعة، والتحليل الوزني التالي

C_2H_6 = 26% by weight
C_2H_4 = 35%
H_2 = 17 %
CH_4 = 22 %

Molecular mass in kg/kmol الكتلة المولية بالوحدات

C_2H_6 = 30, C_2H_4 = 28, H_2 = 2, CH_4 = 16

Note:

Calculations for the exercise are to be based on molar flow rate, so mass should be changed to number of moles for the constituents.

ملاحظة :

تُنجز الحسابات للتمرين استناداً الى معدل الجريان المولي، لذا ينبغي تحويل الكتلة الى عدد المولات لمكونات الخليط.

3.5.4 Balance for the Chemical Reactor

Material balance across chemical reactors often include **generation** of new species and **consumption** of some reactants. The balance is usually performed in terms of number of moles or molar flow rates, because equations

3.5.4 موازنة المادة للمفاعل الكيميائي

غالباً ما تتضمن موازنة المادة عبر المفاعلات الكيميائي **توليد** عناصر جديدة مع **استهلاك** بعض المواد المتفاعلة. وتُنجز الموازنة عادة باستخدام عدد المولات او معدلات الجريان المولية وذلك لان معادلات

of chemical reaction are based on number of molecules or moles.
We can write the material balance equation for component i as

التفاعل الكيميائي تُكتب بدلالة عدد الجزيئات او المولات.
يمكننا كتابة معادلة موازنة المادة للمكون (i) على النحو التالي

$$n_{i,out} - n_{i,in} = n_{i,generated} - n_{i,consumed} \qquad (3.6)$$

n_i = number of moles, $n_{i,generated}$ = moles of i generated , $n_{i,consumed}$ = moles of i consumed

(n_i) = عدد المولات، ($n_{i,generated}$) = عدد المولات المتولدة ، ($n_{i,consumed}$) = عدد المولات المستهلكة من المكون (i)

Note that when no reaction is involved, the right hand side of equation (3.6) reduces to zero, therefore moles in equal to moles out.

ملاحظة في حالة عدم وجود تفاعل كيميائي يصبح الطرف الأيمن من المعادلة (3.6) مساوياً الصفر، وهذا يعني بأن عدد المولات الداخلة تساوي عدد المولات الخارجة.

Example 3.9

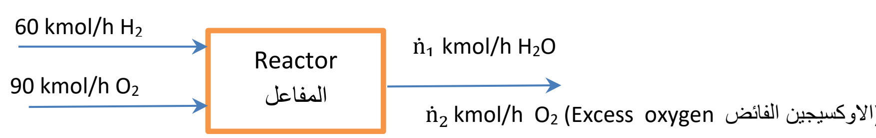
المثال 3.9

The combustion of hydrogen in oxygen produces water. If 60 kmol/h of H_2 and 90 kmol/h of O_2 are fed to the reactor, determine the quantity of water, and the excess oxygen required for complete combustion of the hydrogen.

يؤدي احتراق الهيادروجين في وجود الاوكسيجين الى انتاج الماء. فاذا دخل 60 كمول/ساعة من H_2 و 90 كمول/ساعة من (O_2) الى المفاعل، اوجد كمية الماء، وكمية الأوكسجين الفائض اللازم لاحتراق الهايدروجين احتراقاً كاملاً.

Solution **الحل**

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$



<u>To find n_1 and n_2</u> **<u>ايجاد قيم (n_1) و (n_2)</u>**

We apply equation (5.6) for each component of the reaction:
نطبق المعادلة (3.6) على كل مكون من مكونات التفاعل:

$$n_{i,out} - n_{i,in} = n_{i,generated} - n_{i,consumed} \qquad \text{(Eqn. 3.6)}$$

We applye qn 3.6 for flow rates: نطبق المعادلة (3.6) لمعدلات الجريان:

60 kmol/h of H_2 are consumed first and therefore hydrogen is the limiting reactant.
60 كيلومول/ساعة من غاز الهايدروجين تستهلك اولاً، لذا الهايدروجين هو المتفاعل المحدد.

For H_2 :

$$\dot{n}_{H2,out} - \dot{n}_{H2,in} = \dot{n}_{H2,generated} - \dot{n}_{H2,consumed} \quad , \quad 0.0 - 60 = 0.0 - \dot{n}_{H2,consumed}$$

Consumption of H_2 ($\dot{n}_{H2,consumed}$) = 60 kmol/h كمية الهايدروجين المستهلكة

For O_2:

$\dot{n}_{H2,out} - \dot{n}_{H2,in} = \dot{n}_{H2,generated} - \dot{n}_{H2,consumed}$ $\dot{n}_{O2,out} - 90 = 0.0 - \dot{n}_{O2,consumed}$

$\dot{n}_{O2,out} = \dot{n}_{O2,excess} = \dot{n}_2$

For H_2O:

$\dot{n}_1 - 0.0 = \dot{n}_{generated} - 0.0$, Water formed = $\dot{n}_{generated} = \dot{n}_1$

According to stoichiometry: وبموجب مفهوم تكافؤ مكونات التفاعل نحصل على:

2 kmol H_2 → 2 kmol of H_2O , 1 kmol H_2 → 1 kmol of H_2O, 60 kmol H_2 → 60 kmol of H_2O,

The amount of water generated $\dot{n}_1$ = 60 kmol/h = كمية الماء المتولدة

1 kmol of O_2 → 2 kmol of H_2O , ½ O_2 → 1 H_2O, ½ x (60 O_2) → 60 H_2O

Moles of O_2 reacted, $\dot{n}_{O2,consumed}$ = 60/2 = 30 kmol/h = الاوكسيجين المتفاعل (المستهلك)

Oxygen consumed $\dot{n}_{O2,consumed} = 90 - \dot{n}_2$ الاوكسيجين المستهلك

$\dot{n}_2$ (excess O_2) = 90 -30 = 60 kmol/h الاوكسيجين الفائض

The same results can be achieved by the **inspection method** based on stoichiometry; that is equating number of moles according to stoichiometry.

يمكن الحصول على نفس النتائج **بطريقة التفحص** استاداً الى مبدا تكافؤ العناصر الكيميائية، اي مساواة عدد المولات حسب التكافؤ في معادلة التفاعل.

2 kmol/h H_2 + 2 kmol/h O_2 = 1 kmol/h H_2O

60 kmol/h H_2 → 60 kmol/h H_2O, 1 kmol H_2 reacts with ½ x 60 = 30 kmol/h O_2,

Excess O_2 $\dot{n}_{O2,excess}$ = 90 - 30 = 60 kmol

We can also solve the example using the extent of reaction ζ for molar flow rates as:

ويمكننا أيضًا حل المثال باستخدام مدى تقدم التفاعل ζ بدلالة معدلات الجريان المةليةكما يلي:

$$\zeta = \frac{n_{i,final} - n_{i,initial}}{\nu_i} \quad \text{(Eqn.3.3)}$$

$$\zeta_{H2} = \frac{\dot{n}_{H2,final} - \dot{n}_{H2,initial}}{\nu_{H2}} = \frac{0.0 - 60}{-2} = 30$$

$$n_{i,final} = n_{i,initiall} + \zeta\,\nu_i \quad \text{(Eqn.3.4)}$$

$$\dot{n}_{O2,final} = \dot{n}_{O2,initiall} + \zeta\,\nu_{O2}$$

$$\dot{n}_{O2,final} = \dot{n}_{O2,initiall} + 30 \times -1$$

$$\dot{n}_{O2,final} = \dot{n}_2 = 90 + 30 \times (-1) = 60 \text{ kmol/h}$$

$\dot{n}_2$= <u>60 kmol/h</u> (Excess O_2 الاوكسيجين الفائض)

$$\dot{n}_{H2O,final} = \dot{n}_{H2O,initiall} + \zeta\, \nu_{O2}$$

$\dot{n}_{H2O,final}$ = n_1 = 0.0 + 30 x(2) = <u>60 kmol/h</u> (generated water الماء المتولد)

Comments

1. We can apply equation 3.1 to find the % Excess of O_2.
2. There are three possible methods to solve simple reactor material balance problems, these are

a. Applying equation (5.6) to each component of the reaction plus stoichiometric balance of the chemical reaction.

b. Using the Inspection method for stoichiometric determination of number of moles and finding the product moles and number of moles of the excess reactant.

c. Using the concept of extension of reaction.

الملاحظات

1. يمكننا تطبيق المعادلة (3.1) لايجاد النسبة المؤية للفائض من (O_2).
2. من الممكن استخدام ثلاث طرق لحل مسائل موازنة المادة البسيطة التي تخص المفاعلات الكيميائية ، هي

أ. تطبيق المعادلة (5.6) على كل مكون من مكونات التفاعل بالإضافة إلى توازن العناصرالمتكافئة للتفاعل الكيميائي.

ب. عن طريق التفحص باستخدام معادلة العناصر المتكافئة لتحديد عدد المولات ستناداً الى المعادلة الكيميائية المتوازنة، حيث يمكن إيجاد مولات المنتج وعدد مولات المادة المتفاعلة الفائضة.

ج. استخدام مفهوم مدى تقدم التفاعل.

Exercise

Solve the example to find excess hydrogen using the inspection method, for 300 kmol/h hydrogen and 90 kmol/h oxygen.

تمرين

حل المثال بطريقة التفحص لايجاد الفائض من الهايدروجين، باعتبار معدل الجريان للهايدروجين يساوي 300 كيلومول/ساعة وللاوكسيجين 90 كيلومول/ساعة.

Example 3.10

Methane (CH_4) is burned continuously to form carbon dioxide (CO_2) and water (H_2O). The feed consists of 45 kmol/h methane and 90 kmol/h oxygen. For 85% conversion of methane,

a- Balance the chemical reaction equation
b- Determine composition of the products

المثال 3.10

يُحرق غاز الميثان (CH_4) بشكل مستمر لتوليد ثاني أوكسيد الكاربون (CO_2) والماء (H_2O). اذا كان خليط الغاز الداخل يتكون من 45 كيلومول/ساعة من الميثان و 90 كيلومول/ساعة من الاوكسيجين، وكانت النسبة المؤية لتحويل الميثان 85%،

أ- اوزن معادلة التفاعل الكيميائي
ب- حدد نسب مكونات المُنتَجات

Solution

a- Balancing the reaction equation

الحل

أ- موازنة معادلة التفاعل

$$CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$$

The steps:

1. There is one atom of C on each side, so the carbon is balanced.
2. There are four atoms of H on the left hand side and two on the right; we multiply the H_2o by 2 to balance the hydrogen.
3. Now, there are two atoms of oxygen on the left hand side and four on the right; we therefore the oxygen on the left must be multiplied by 2 to balance the oxygen.

الخطوات:

1. هناك ذرة واحدة من C في كل جانب، وعليه فإن عنصر الكاربون متوازن.
2. توجد أربع ذرات من H على الجانب الأيسر وذرتين على الجانب الأيمن، لذا نضرب (H_2O) بالرقم 2 لموازنة الهايدروجين.
3. الآن، هناك ذرتان من الأوكسجين في الجانب الأيسر وأربع ذرات في الجانب الأيمن، لذا يجب ضرب الأوكسجين الموجود على اليسار بالرقم 2 لموازنة الأوكسجين.

The balanced equation:

المعادلة المتوازنة :

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2\,H_2O$$

b- Product composition:

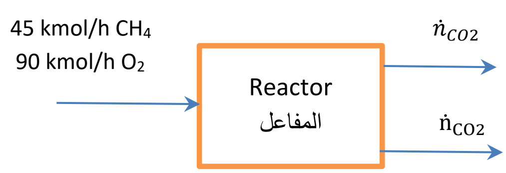
ب- نسب مكونات المُنتَجات:

<u>Basis:</u> 135 kmol/h of feed

<u>الاساس للحسابات :</u> 135 كيلومول/ساعة من الخليط

Flowchart of the steady state continuous process is shown below

يتضح مخطط البيانات الانسيابي للعمية الصناعية المستمرة والمستقرة في ادناه



$$F = 45 \text{ kmol/h } CH_4 + 90 \text{ kmol/h } O_2 = 135 \text{ kmol/h}$$

The conversion of CH_4 = 85%,

النسبة المؤية لتحويل الميثان = 85%،

Thus, **methane is the limiting reactant** by definition of conversion.

ولذلك يكون **الميثان هو المتفاعل المحدد** لان تعريف التحويل يستند الى المادة المفاعلة المحددة.

$$\% \text{ conversion} = \frac{\text{Moles of } CH_4 \text{ reacted}}{\text{Moles of } CH_4 \text{ in the feed}} \times 100 \qquad \text{(Eqn. 3.2)}$$

$$85 = \frac{\text{Moles of } CH_4 \text{ reacted}}{45} \times 100$$

Moles of CH_4 reacted = 0.85 x 45 = 38.25 kmol/h = عدد مولات الميثان المتفاعلة

Moles of O_2 reacted = 38.25 x 2 = 76.5 kmol/h = عدد مولات الاوكسيجين المتفاعلة

According to stoichiometry, we have: وفقا لمفهوم تكافؤالعناصر الكيميائية لدينا :

1 kmol/h of CH_4 + 2 kmol O_2 → 1 kmol/h of CO_2 + 2 kmol/h of H_2O.

38.25 CH4 + (2 x 38.25) O_2 → 38.25 kmol/h of CO_2 + 2 x 38.25 kmol/h of H_2O

O_2 remaining in products = 90 - 76.5 = 13.5 kmol/h = الاوكسيجين المتبقي في المُنتجات

H_2O formed = 2 x 38.25 = 76.5 kmol/h = الماء المتولد

CH_4 remaining in products = 45 – 38.25 = 6.75 kmol/h = الميثان المتبقي في المُنتجات

Product composition: **نسب مكونات المُنتَجات:**

Component	Flow rate kmol/h	mole fraction	mole %
CO_2	38.25	0.2833	28.33
H_2O	76.5	0.5666	56.66
CH_4	6.75	0.050	5
O_2	13.5	0.100	10
Total	135	1	100

Comments

We can also use equation (5.6), or the extent of reaction method, to solve the example.

الملاحظات

يمكننا ايضاً استخدام المعادلة (5.6) او طريقة مدى تقدم التفاعل لحل المثال

Exercise

Apply equation (5.6) to solve the example. Use Excel as well as the manual calculations.

تمرين

طبق المعادلة (5.6) لحل المثال. استخدم برنامج Excel بالإضافة إلى الحسابات اليدوية.

Example 3.11

المثال 3.11

Chorine is produced by electrolysis of sodium chloride solution according to the following reaction

يُنتج الكلور عن طريق التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم وفقا للتفاعل التالي

$$2NaCl + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2 + Cl_2$$

The feed contains 8 mole % salt. Assuming complete consumption of the salt, determine a- product composition, b- mass of chlorine c- mass of chlorine produced for 4000 kg feed d- extent of reaction.

The production of chlorine is a batch industrial process.

يحتوي الخليط المغذي للمفاعل على 8 مول % من الملح. بافتراض الاستهلاك الكامل للملح، اوجد أ - نسب مكونات المنتجات، ب- كتلة الكلور: ج- كتلة الكلور التي تنتج عند تغذية 4000 كغم من الخليط د- مدى تقدم التفاعل.

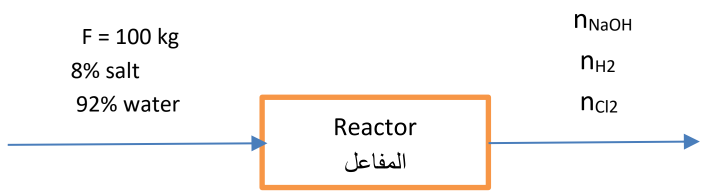
يتم انتاج الكلور من خلال عملية تصنيع بالوجبات المتعاقبة.

Solution

الحل

. **<u>Basis:</u>** 100 kmol of feed

الاساس للحسابات: 100 كيلومول من الخليط المغذي



a- product composition

أ - نسب مكونات المنتجات

In the feed, 8 kmol NaCl + 92 kmol H_2O

مكونات الخليط الداخل:

NaCl is the limiting reactant, because 2 kmol reacts with 2 kmol water and therefore 8 kmols of the salt will be consumed first on complete conversion.

يُعد (NaCl) المتفاعل المحدد، لان 2 كيلومول منه تتفاعل مع 2 كيلومول من الماء، ولما كان هناك 8 كيلومول من الملح فسيستهلك الملح اولا عندما يتحول بالكامل.

According to stoichiometry:

وبتطبيق مفهوم تكافؤ العناصر الكيميائية:

2 kmol of NaCl + 2kmol $H_2O \rightarrow$ 2 kmol NaOH + 1 kmol H_2 + 1 kmol Cl_2

8 koml Nacl + 8 kmol $H_2O \rightarrow$ 8 kmol NaOH + 4 kmol H_2 + 4 kmol Cl_2

8 koml Nacl reacts with 8 koml H_2O

The excess water = 92 - 8 = 84 kmol = كمية الماء الفائض

Composition of product:

نسب مكونات المُنتَجات:

Component	kmol	mole fraction	mole %
NaCl	0.0	0.00	0.00
H_2O	84	0.84	84%
NaOH	8	0.08	8%
H_2	4	0.04	4%
Cl_2	4	0.04	4%
Total	100	1	100

b - Mass of chlorine, **ب - ايجاد كتلة الكلور،**

Mass = Number of moles x MW الكتلة = عدد المولات xالوزن الجزيئ

Mass of Chlorine produced = 4 x 35 = 140 kg for 100 kmol feed كتلة الكلور المتولدة

100 kmol feed = 8 kmol salt + 92 kmol water

100 kmol feed = (8 x MW_{NaCl} + 92 x MW_{H2O}) kg

100 kmol feed = 8 x 58 + 92 x 18 = 2120 kg

140 kg of Cl_2 are formed for 2120 kg feed كتلة الكلور عند تغذية المفاعل 2120 كغم

c- Mass of chlorine for 4000 kg feed **ج- كتلة الكلور لتغذية 4000 كغم**

For 4000 kg feed, mass flow rate of Cl_2 = 140 x (4000/2120) = 264.15 kg

Mass flow rate of Cl_2 for 4000 kg/h feed = 264.15 kg

d- Extent of reaction **د- مدى تقدم التفاعل**

$$\zeta = \frac{n_{i,final} - n_{i,initial}}{\nu_i} \qquad \text{(Eqn.3.3)}$$

$$\zeta = \frac{n_{NaCl,final} - n_{NaCl,initial}}{\nu_i} = \frac{0.00 - 8}{-2} = 4$$

Comments **الملاحظات**

We can use the extent of reaction to find product composition from the equation:

يمكننا استخدام قيمة مدى تقدم التفاعل لايجاد نسب مكونات المُنتج باستخدام المعادلة:

$$n_{i,final} = n_{i,initiall} + \zeta\, \nu_i$$

Exercise **تمرين**

Determine the composition of products using the extent of reaction.

اوجد نسب مكونات النواتج باستخدام مدى تقدم التفاعل.

Example 3.12 المثال 3.12

Oxygen reacts with sulphur dioxide (SO_2) to form sulphur trioxide (SO_3). 130 kmol of SO_2 and 100 O_2 are fed to the reactor.

يتفاعل الأوكسجين مع ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2) لتوليد ثالث أوكسيد الكبريت (SO_3)، حيث يدخل 130 كيلومول من ثاني أوكسيد الكبريت و 100 كيلومول من الاوكسيجين إلى المفاعل.

The amount of SO_2 found in the product is 56 kmol. Calculate a- % conversion of SO_2 and b- composition of the product.

اذا كانت كمية ثاني أوكسيد الكبريت في المنتجات تساوي 56 كيلومول، احسب أ- النسبة المؤية لتحويل ثاني اوكسيد الكبريت ، ب- نسب مكونات المنتجات.

$$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$$

Solution **الحل**

<u>Basis:</u> 130 kmol of SO_2

<u>الاساس للحسابات:</u> 130 كيلومول من (SO_2)



a- **% Conversion of sulphur dioxide** **أ- النسبة المؤية لتحويل ثاني اوكسيد الكبريت**

$$\%\text{ conversion of } SO_2 = \frac{\text{Moles of } SO_2 \text{ reacted}}{\text{Moles of } SO_2 \text{ in the feed}} \times 100 \qquad \text{(Eqn. 3.2)}$$

The balanced equation: معادلة التفاعل المتوازنة:

$$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3 \quad \text{or} \quad SO_2 + ½O_2 \rightarrow SO_3$$

100 kmol of oxygen requires 200 kmol of SO_2 for complete conversion. Since there are only 130 kmol of SO_2, the sulphur dioxide is the limiting reactant.

تطلب 100 كيلومول من الأوكسجين 200 كيلومول من ثاني أوكسيد الكبريت للتحويل الكامل. ونظرًا لوجود 130 كيلو مول فقط من ثاني أكسيد الكبريت، يُعد ثاني أكسيد الكبريت المادة المتفاعلة المحددة.

Balance for sulphur dioxide: **موازنة المادة لثاني اوكسيد الكبريت:**

$$n_{i,out} - n_{i,in} = n_{i,generated} - n_{i,consumed}$$

$$56 - 130 = 0.00 - n_{SO2,consumed}$$

Moles of SO_2 reacted (consumed) = 130 – 56 = 74 kmol = عدد مولات (SO_2) المتفاعلة

$$\%\text{ conversion} = \frac{74}{130} \times 100 = \underline{56.92\%}$$ = النسبة المؤية للتحويل

b- Composition of products **ب- نسب مكونات المنتجات**

<u>Balance for O_2:</u> **<u>موازنة المادة للاوكسيجين:</u>**

$$n_{i,out} - n_{i,in} = n_{i,generated} - n_{i,consumed} \qquad \text{(Eqn. 3.6)}$$

O_2 consumed (or reacted) = 74/2 = 37 kmol = عدد مولات الاوكسيجين المتفاعلة

This is because, according to stoichiometry, I kmol of SO_2 reacts with ½ kmol O_2.
وذلك لأنه، وفقًا لتكافؤ العناصر المتفاعلة، يتفاعل 1 كيلومول من (SO_2) مع ½ كيلومول من (O_2).

$n_{O2,generated} = 0.00$

$n_{O2.\ in}$ = 100 kmol (oxygen in feed)

$n_{O2,out} - n_{O2.\ in} = n_{O2,generated} - n_{O2,consumed}$

$n_{O2,out} - 100 = 0.00 - 37$

$n_{O2,out}$ = 63 kmol (excess O_2) كمية الاوكسيجين الفائض

Balance for SO_3: **موازنة المادة لثالث لوكسيد الكبريت :**

1 kmol SO_2 → 1kmol SO_3

$n_{i,out} - n_{i,in} = n_{i,generated} - n_{i,consumed}$ (Eqn. 3.6)

$n_{SO3,\ out} - 0.0 = 74 - 0.00$

$n_{SO3,\ out}$ = 74 kmol كمية ثالث اوكسيد الكبريت المتولدة

Product composition: **نسب مكونات المُنتجات:-**

Component	kmol	mole fraction	mole %
SO_2	56	0.2901	29.01%
O_2	63	0.3264	32.64%
SO_3	74	0.3834	38.34%
Total	193	1	100

Comments

We can determine the extent of reaction and solve the example accordingly.

الملاحظات

يمكننا تحديد قيمة مدى تقدم التفاعل وحل المثال وفقاً لذلك.

Exercise

10,000 kg of SO_2 and 3500 kg of oxygen are fed to a reactor. If the conversion of SO_2 is 57%, determine the product composition using the extent of reaction method. (Find molecular weights from relevant sources)

تمرين

يدخل 10,000 كغم من ثاني أكسيد الكبريت و3500 كغم من الأوكسجين إلى المفاعل، فاذا كانت نسبة تحويل ثاني أوكسيد الكبريت 57%، حدد نسب مكونات المُنتجات باستخدام طريقة مدى تقدم التفاعل. (اوجد قيم الاوزان الجزيئية من المصادر ذات الصلة)

3.5.5 Recycle and Purging of Reactors

Recycling of some of the products of a chemical reactor is a useful operation to enhance the utilisation of reactants and obtain good yield of the desired products. The output from the reactor is usualy fed to a separator to recycle the unreacted species. See Fig 3.3.

3.5.5 اعادة التدوير وتنظيف للمفاعلات

تعد عملية إعادة تدوير بعض منتجات المفاعل الكيميائي عملية مفيدة لتعزيز استهلاك المواد المتفاعلة وللحصول على إنتاجية جيدة للمنتجات المطلوبة. تُمرر عادة المواد الخارجة من المفاعل في جهاز فصل لغرض اعادة تدوير العناصر غير المتفاعلة إلى المفاعل. انظر الشكل (3.3).

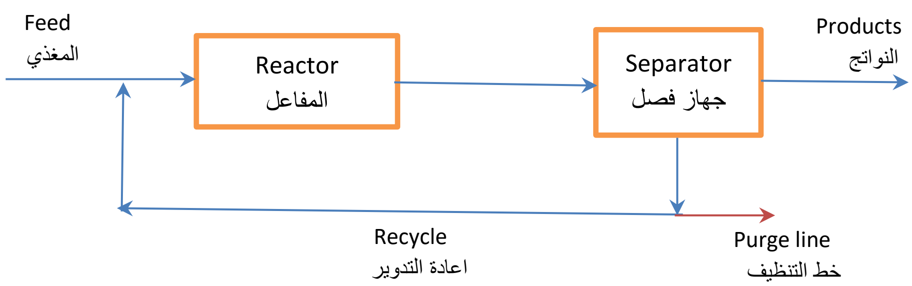


Figure 3.3 Reactor with recycle and purge lines

الشكل 3.3 المفاعل بوجود خط لاعادة التدوير وخط للتنظيف

Purging iscarried out for some reactors to get rid of inert or unwanted material. While, the recycle helps to obtain a higher concentration of the desired product to be withdrawn after completion of the reaction. The purging process is accomplished through a separate line as shown in Fig (3.3).

In processes that involve a reactor with recycle, there will be an **overall conversion** related to the input and output from the process, as well as a **single pass conversion** related to the input and output of the chemical reactor only.

تَنجز عملية **التنظيف** لبعض المفاعلات للتخلص من المواد الخاملة أو المواد غير المرغوب بها. بينما تساعد عملية إعادة التدوير في الحصول على تركيز أعلى من المُنتَج المطلوب بعد اكتمال التفاعل. وتتم عملية التنظيف من خلال خط منفصل كما هو موضح في الشكل (3.3) .

وفي العمليات الصناعية التي تتضمن مفاعلاً كيميائياً بوجود إعادة التدوير، سيكون هناك **تحويل شامل للعملية الصناعية** الذي يتعلق بالمدخلات والمخرجات من العملية الصناعية باكملها، هذا بالاضافة الى **التحويل احادي المسار** الذي يخص مدخلات ومخرجات المفاعل الكيميائي فقط.

$$\text{Overall Conversion} = \frac{n_{i,process-in} - n_{i,pocess-out}}{n_{i,process-in}} \times 100 \qquad (3.7)$$

$$\text{Single-Pass Conversion} = \frac{n_{i,reactor-in} - n_{i,reactor-out}}{n_{i,reactor-in}} \times 100 \qquad (3.8)$$

n_i = number of moles of species I

n_i = عدد المولات للعنصر i

Example 3.13

المثال 3.13

Propane (C_3H_8) is dehydrogenated to form propylene (C_3H_6) in a **catalytic chemical reactor** according to the following reaction equation

يتم نزع الهايدروجين من البروبان (C_3H_8) لتكوين البروبيلين (C_3H_6) في **المفاعل الكيميائي الحفاز** وفقا لمعادلة التفاعل التالية

$$C_3H_8 \rightarrow C_3H_6 + H_2$$

Determine the product composition for 96% overall conversion of propane. If the recycle stream contains 4.5 mole % propylene entering the reactor, and the products from the process contains 0.5 % of the propylene leaving the separator. Find the single pass conversion.

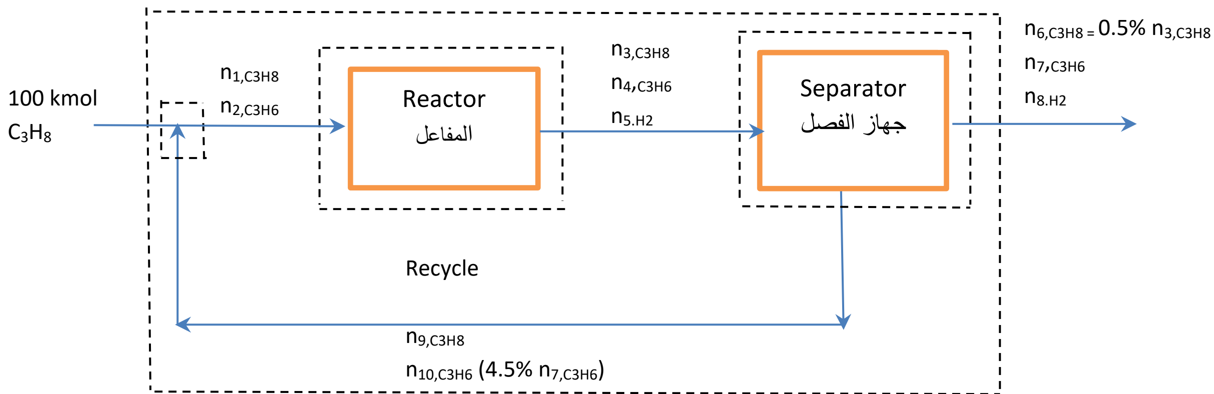
قم بتحديد تركيبة المنتجات لتحويل شامل للعملية الصناعية مقداره 96% يخص البروبان. اذا علمت ان مجرى إعادة التدوير يحتوي على 4.5% كنسبة مولية من البروبيلين الداخل إلى المفاعل، وتحتوي المنتجات من العملية على 0.5 % من البروبيلين الخارج من جهاز الفصل، اوجد مقدار التحويل احادي المسار.

Solution

الحل

<u>Basis:</u> 100 kmol of propane (or 100 kmo/h)

<u>الاساس للحسابات</u> 100 كيلومول من البروبان (او 100 كيلومول/ساعة)



Flow chart for the process مخطط البيانات الانسيابي للعملية الصناعية

It is possible to conduct material balance for four blocks, as indicated by the dotted line boxes.

To find the product composition, we conduct an overall balance based on the moles involved in the balanced reaction equation. We also know the overall conversion of propane which helps to find the reactor conversion or single pass conversion, and also helps us to estimate the number of moles of propane in the final products

يمكن إجراء موازنة المادة لأربعة مواقع موضحة كمربعات منقطة في المخطط الانسيابي.

ولايجاد نسب مكونات االمنتجات، نقوم بإجراء موازنة إجمالية شاملة بناءً على عدد مولات معادلة التفاعل المتوازنة. نحن نعلم أيضًا مقدارالتحويل الشامل للبروبان الذي يساعد على تقديرالتحويل عبر المفاعل أو التحويل احادي المسار، والذي يساعدنا ايضا على تحديد قيم مولات البروبان في المنتجات النهائية.

Over all balances: **موازنات المادة الشاملة:**

Overall balance for propane: الموازنة الشاملة للبروبان:

$n_{6,C3H8}$ = 100 - (96/100) 100 = 4 kmol

100 kmols C_3H_8 in feed – 4 kmols in product = 96 kmol reacted.

According to stoichiometry of the reaction: وفقاً لتكافؤ العناصر نحصل على:

1 kmol of C_3H_8 → 1 kmol C_3H_6 + 1 kmol of H_2

96 kmol of C_3H_8 → 96 kmol C_3H_6 + 96 kmol of H_2

Thus, $n_{7,C3H6}$ = 96 kmol , $n_{8,H2}$ = 96 kmol

Product composition: **نسب مكونات المُنتجات:**

Component	kmol	mole fraction	mole %
C_3H_8	4	0.020408	2.0408
C_3H_6	96	0.489795	48.9795
H_2	96	0.489795	48.9795
Total	196	1	100

Calculation of single pass conversion: **تقييم التحويل احادي المسار:**

$n_{6,C3H8} = 0.5\%\ n_{3,C3H8}$

$n_{3,C3H8}$ = 4/(0.5/100) = 800 kmol

$n_{10,C3H6}$ = 0.045 x $n_{7,C3H6}$ = 0.045 x 96 = 4.32 kmol

Propane balance for separator: **موازنة البروبان لجهاز الفصل:**

$n_{3,propane} = n_{6,C3H8} + n_{9,C3H8}$, $800 = 4 + n_{9,C3H8}$

$n_{9,C3H8}$ = 796 kmol

Propane balance around the mixing point: **موازنة البروبان حول نقطة الخلط:**

$100 + n_{9,C3H8} = n_{1,C3H8}$, $100 + 796 = n_{1,C3H8}$

$n_{1,C3H8} = 896$ kmol

$$\text{Single-Pass Conversion} = \frac{n_{i,reactor-in} - n_{i,reactor-out}}{n_{i,reactor-in}} \times 100 \quad (3.8)$$

$$\text{Single-Pass Conversion} = \frac{n_{1,C3H8} - n_{3,C3H8}}{n_{1,C3H8}} \times 100$$

$$\text{Single-Pass Conversion} = \frac{896 - 800}{896} \times 100 = \underline{10.71\%}$$ = التحويل احدي المسار

Comments **الملاحظات**

1. The **recycle ratio** can be determined by dividing the total recycled moles by the feed number of moles,

1. يمكن تحديد **نسبة إعادة التدوير** عن طريق قسمة إجمالي عدد المولات المعاد تدويرها على عدد مولات غاز التغذية،

$$\text{Recycle ratio} = \frac{n_{9,C3H8} + n_{10,C3H6}}{100 \text{ kmol feed}}$$

2. The amount of hydrogen and propylene leaving the reactor can be found by cperforming more material balances.

2. نستطيع معرفة كمية الهايدروجين والبروبيلين الخارجة من المفاعل عن طريق اجراء المزيد من موازنات المادة.

Exercise **تمرين**

If the overall conversion of propane is 98%, solve the example to find the amount of hydrogen and propylene leaving the reactor.

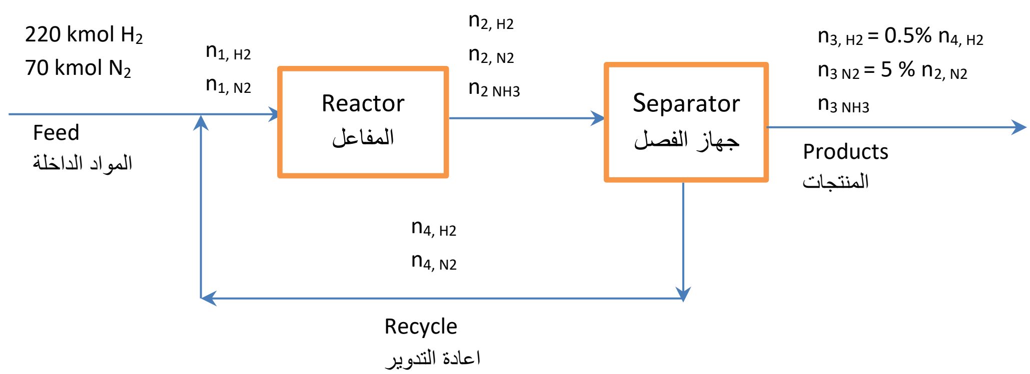
اذا علمت ان التحويل الشامل للبروبان يساوي 98%، حل المثال لايجاد كمية الهيادروجين والبروبيلين الخارجة من المفاعل.

Example 3.14

المثال 3.14

In the production of ammonia, the overall conversion across the plant for nitrogen is 85%. The feed consists of 70 kmol N_2 and 220 kmol H_2. Determine the product composition, the recycle ratio and the single pas conversion according to the following flow chart,

اذا كانت قيمة التحويل الشامل للنايتروجين عبر مصنع انتاج الامونيا تساوي 85%، وكان الخليط الداخل يتكون من 70 كيلومول من النايتروجين و 220 كيلومول هايدروجين. حدد نسب مكونات المنتجات، ونسبة إعادة التدوير، والتحويل احادي المسار وفقاً لمخطط البيانات الانسيابي التالي,



Flow chart for the process مخطط البيانات الانسيابي للعلمية الصناعية

Solution **الحل**

<u>Basis:</u> 22o kmol H_2 **<u>الاساس للحسابات:</u>** 220 كيلومول من الهايدروجين

Overall balances: **الموازنات الاجمالية:**

Balance for nitrogen: موازنة النايتروجين:

$$3H_2 + N_2 \rightarrow 2NH_3$$

Since 70 kmol of nitrogen reacts with 3 x 70 = 210 kmols of hydrogen, the limiting reactant is nitrogen because there is excess H_2 in the feed (220 kmol).

يوجد 70 كيلومول من النايتروجين التي تتفاعل مع (3 x 70 = 210) كيلومول من الهايدروجين، لذا يكون النايتروجين هو المتفاعل المحدد لوجود فائض من الهايدروجين في خليط التغذية (220 كيلومول).

$n_{N2,consumed}$ = 70 x (85/100) = 59.5 kmol كمية النايتروجين المستهلك

Input – Consumption = Output + Generation , (Generation = 0.0)

N_2 remaining in product ($n_{3,N2}$) = 70 –59.5 = 10.5 kmol النايتروجين المتبقي في المنتجات

Balance for hydrogen: موازنة الهايدروجين:

59.5 kmol of N_2 reacts with (3 x 59.5) H_2 = 178.5 kmol H_2

Input - Consumption = Output + Generation , (Generation= 0.0)

H_2 remaining in the product ($n_{3,H2}$) = 220 - 178.5 = 41.5 kmol الهايدروجين المتبقي

Balance for ammonia: موازنة الامونيا:

Output = generation , (Input = 0.0 and Consumption = 0.0)

59.5 kmol of N_2 generates 2 x 59.5 kmol NH_3

Ammonia generated = 119 kmol كمية الامونيا المتولدة

Product composition: **نسب مكونات المُنتجات:**

Component	kmol	mole fraction	mole %
H_2	41.5	0.2427	24.27
N_2	10.5	0.0614	6.14
NH_3	119	0.6959	69.59
Total	171	1.0	100

تقييم نسبة اعادة التدوير:

Evaluation of recycle ratio:

$n_{3,\,N2} = 2\ \%\ n_{2,\,N2}$

$10.5 = 0.05 \times n_{2,\,H2}$

$n_{2,\,N2} = 724.5$ kmol

$n_{3\ H2} = 5\%\ n_{4,\,H2}$

$n_{4,\,H2} = 41.5/0.05 = 830$ kmol

$n_{2,\,N2} = n_{3,N2} + n_{4,N2}$

$n_{4,N2} = 724.5 - 10.5 = 714$ kmol

Total recycle = 830 + 714 = 1544 kmol

Recycle ratio = Recycle /feed

Recycle ratio = 1544 /(220 + 70) = <u>5.32</u> =نسبة اعادة التدوير

Determination of the single pass conversion:

تحديد قيمة التحويل احادي المسار:

$$\text{Single-Pass Conversion} = \frac{n_{1,N2} - n_{2,N2}}{n_{1,N2}} \times 100$$

$$n_{1,N2} = n_{4,N2} + 70 = 714 + 70 = 784 \text{ kmol}$$

$$n_{2,N2} = 724.5 \text{ kmol}$$

$$\text{Single-Pass Conversion} = \frac{784 - 724.5}{748} \times 100 = \underline{7.59\%}$$ التحويل احادي المسار

Comments

1. In this example, the one pass conversion has a low value compared to the overall conversion, so the recycle has increased the conversion from 7.59 to 85%.
2. The extent of reaction based on the overall conversion of nitrogen can also be used to solve the example. You can first check the limiting reactant by calculating ζ_{N2} and ζ_{H2} for complete conversion and whichever has the lower value is the limiting reactant.
3. The feed to the ammonia plant may contain a small quantity of an inert gas. In this case, a **purge line** should be included to flush out the inert gas after separation. The material balance is more complex and will not be included in this chapter.

الملاحظات

1. نجد في هذا المثال قيمة التحويل احادي المسار منخفضة مقارنة بالتحويل االشامل، لذا فإن عملية إعادة التدوير ادت الى زيادة مقدار التحويل من 7.59 إلى 85%.
2. يمكن أيضًا استخدام مدى تقدم التفاعل المتعلق بالتحويل الشامل للنايتروجين في حل المثال. فيمكننا أولًا التحقق من المادة المتفاعلة المحددة عن طريق حساب (ζ_{N2} و ζ_{H2}) على اساس التحويل الكامل، وأيهما له قيمة أقل فهو المادة المتفاعلة المحددة.
3. قد يحتوي خليط التغذية لمصنع الأمونيا على كمية صغيرة من الغاز الخامل. ففي هذه الحالة يجب تضمين **خط التنظيف** لطرد الغاز الخامل بعد فصله. أما موازنة المادة فهي أكثر تعقيداً ولن نتطرق لها في هذا الفصل.

Exercise

Solve the example using the extent of reaction method and then use Excel to compare with the calculated results.

تمرين

حل المثال باستخدام طريقة مدى تقدم التفاعل ثم استخدم برنامج الاكسيل لمقارنة النتائج مع المحسوبة يدوياً.

3.6 Combustion Calculations

3.6 الحسابات المتعلقة بالاحتراق

3.6.1 Fuels for Combustion

3.6.1 الوقود المتاح للاحتراق

Fuel combustion is one of the vital processes in industry and burning fuel with air is a common daily practice. In our homes, coal, fuel gas and kerosene are widely used for cooking and heating purposes. In addition, large amounts of

يُعد **احتراق الوقود** إحدى العمليات الحيوية في الصناعة، كما ان حرق الوقود مع الهواء هي ممارسة يومية شائعة. ففي منازلنا نستخدم الفحم وغاز الوقود والكيروسين على نطاق واسع لأغراض الطهي والتدفئة، هذا بالاضافة الى حرق كميات كبيرة من الوقود

fuels are burned for transportation and electric power generation. **Fuels** are classified into three types: solid, liquid and gaseous fuels.

لتزويد وسائل النقل ومنشآت توليد الكهرباء بالطاقة. يتم تصنيف **الوقود** إلى ثلاثة انواع، هي الوقود الصلب والسائل والغازي.

Solid Fuels

الوقود الصلب

Natural **solid fuels** include wood and coal have been used for heating since prehistoric times. Coal mines were explored in China as early as 2000 BC. China is the largest coal-producing country. However coal reserves are mostly found in the United States, Russia and Australia. Coal is considered as a type of fossil fuel composed of mainly carbon; it is formed as a result of subjecting buried branches of trees to heat and pressure caused by geological forces for millions of years. It is used to generate electricity, but the number of coal-combustion power plants has declined due to the emission of polluting gases. In the past, coal was also used to power trains in Europe, USA, Russia and other countries.

يشمل **الوقود الصلب** في الطبيعة كل من الخشب والفحم، وقد استخدم هذا النوع من الوقود للتدفئة منذ عصور ما قبل التاريخ. وقد استكشفت مناجم الفحم في الصين في وقت مبكر يعود الى العام 2000 قبل الميلاد، وتعد الصين أكبر دولة منتجة للفحم، إلا أن معضم احتياطيات الفحم موجودة في الولايات المتحدة وروسيا وأستراليا. ان الفحم هو احد انواع الوقود ألاحفوري الذي يتكون بشكل رئيسي من الكاربون. وقد تشكل الفحم نتيجة تعرض أغصان الأشجار المدفونة للحرارة والضغط الناتج عن القوى الجيولوجية لملايين السنين. يستخدم الفحم لتوليد الكهرباء، لكن عدد محطات الطاقة التي تعمل بحرق الفحم انخفض بسبب انبعاث الغازات الملوثة للبيئة. وفي الماضي، كان الفحم يستخدم ايضاً لتشغيل القطارات في أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية وروسيا وبعض البلدان الاخرى.

Charcoal is manufactured from by heating wood to a high temperature in the absence of oxygen. Charcoal is lighter than coal and mainly used for domestic eating and cooking.

يصنع **فحم الخشب** عن طريق تسخين الخشب إلى درجة حرارة عالية في غياب الأكسجين. وفحم الخشب أخف من الفحم لطبيعي ويستخدم بشكل رئيسي في الطبخ التدفئة المنزلية.

The combustion of coal in air produces thermal energy with the release of some harmful polluting gases. These gases include sulphur dioxide, carbo dioxid. Combustion also generats ash and some traces of heavy metals. The polluting gases rise into the atmosphere causing health hazards as well as global warming of the environment.

يؤدي احتراق الفحم في الهواء الى توليد طاقة حرارية مع إطلاق بعض الغازات الملوثة الضارة كثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكاربون. كما يخلف الاحتراق كمية من الرماد وبعض من آثار المعادن الثقيلة. وتنبعث الغازات الملوثة فتتصاعد الى الغلاف الجوي مسببةً مخاطر صحية بالإضافة إلى ارتفاع في درجة حرارة الجو.

Liquid Fuels

الوقود السائل

Liquid fuels are mainly manufactured from crude oil which is produced from oil wells. Petroleum products include, diesel, gasoline, kerosene and jet fuels are manufactured by refining crude oil. The Middle East, USA, Russia, and some countries from Europe and

يُصنع **الوقود السائل** بشكل رئيسي من النفط الخام الذي يُستخرج من آلابار. وتشمل المنتجات البترولية الديزل والبنزين والكيروسين ووقود الطائرات التي تُنتج عن طريق تكرير النفط الخام. يعد الشرق الأوسط والولايات المتحدة الأمريكية وروسيا وبعض دول أوروبا

South America are the main suppliers of crude oil. Liquid fuels are used to provide electric power with relatively less pollution than coal. Cars, trains and aeroplanes consume large quantities portion of petroleum fuels.

وأمريكا الجنوبية من الموردين الرئيسيين للنفط الخام. يستخدم الوقود السائل لانتاج الطاقة الكهربائية لكونه يسبب انبعاث ملوثات بكميات أقل نسبياً من الفحم، كما تستهلك السيارات والقطارات والطائرات كميات كبيرة من الوقود البترولي.

Gaseous Fuels

الوقود الغازي

Gaseous fuels may be found in nature or separated from crude oil in degassing stations. Some petroleum gases are also manufactured as by products in oil refineries. **Natural gas** is a major fuel source in the world and it consists of mainly methane and ethane. Qatar, Russia, United States and Algeria are the main exporters of natural gas. Gas is transported via pipelines, but natural gas can also be liquefied to produce liquefied natural gas (LNG) for export.

يمكن العثور على **الوقود الغازي** في الطبيعة أو فصله عن النفط الخام بواسطة محطات عزل الغاز، وتُصنع أيضًا بعض الغازات البترولية كمنتجات ثانوية في مصافي النفط. يعد **الغاز الطبيعي** مصدراً رئيسياً للوقود في العالم ويتكون بشكل أساسي من الميثان والإيثان. وتعتبر كل من قطر وروسيا والولايات المتحدة والجزائر من الدول الرئيسة المصدرة للغاز الطبيعي. يُنقل الغاز عبر الأنابيب، ولكن يمكن ايضاً تسييل الغاز الطبيعي للحصول على الغاز الطبيعي المسال (LNG) لأغراض التصدير.

Combustion of gas fuels emits much less pollutants, and it is the preferred fossil fuel now days for generation of electricity. Liquefied petroleum gas (LPG) is used widely for home cooking; it is also used to fuel some transport vouches.

ينبعث من احتراق الوقود الغازي ملوثات أقل بكثير من الانواع الاخرى، وهو الوقود الأحفوري المفضل حاليًا لتوليد الكهرباء. يُستخدم غاز البترول المسال (LPG) على نطاق واسع في الطهي المنزلي وأيضاً لتزويد بعض بعض وسائط النقل بالوقود.

3.6.2 Combustion Reactions

3.6.2 التفاعلات اثناء عملية الاحتراق

Combustion can be defined *as the rapid reaction of fuel with oxygen.* The chemical reaction forms carbon dioxide and water, the reaction may be accompanied by conversion of sulphur and nitrogen to their oxides. Large quantity of thermal energy is released from such **exothermic reactions**. Fuels are normally burned in the presence of atmospheric air which is composed of roughly 21% oxygen and 78% nitrogen plus 1% of other gases. In practice, air plus fuel are fed to a **combustion chamber** where the combustion reaction takes place to liberate thermal energy. Obviously, air provides the required oxygen for the reaction.

يمكننا تعريف الاحتراق *بأنه التفاعل السريع للوقود مع الأوكسجين*. ينتج عن هذا التفاعل الكيميائي ثاني أوكسيد الكربون والماء، وقد يصاحب التفاعل تحويل الكبريت والنيتروجين إلى أكاسيدهما. تتحرر كمية كبيرة من الطاقة الحرارية نتيجة هذه **التفاعلات الطاردة للحرارة**. يحرق الوقود عادة بوجود الهواء الجوي الذي يتكون من حوالي 21% أوكسجين و 78% نايتروجين بالإضافة إلى 1% من الغازات الأخرى. ومن الناحية العملية، يدخل الهواء مع الوقود إلى **وعاء الاحتراق** (او صندوق الاحتراق) فيحدث تفاعل الاحتراق لتوليد الطاقة الحرارية، وبطبيعة الحال يوفر الهواء كمية الأوكسجين اللازمة لاتمام التفاعل.

Let us consider burning of coal, which contains small amount of sulphur, in air. The following

دعونا نتخذ احتراق الفحم الذي يحتوي على كمية صغيرة من الكبريت كمثال لعملية الاحتراق في الهواء. قد تحدث

reactions may occur,

التفاعلات التالية،

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ (Complete combustion of carbon) (الاحتراق الكامل للكاربون)

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ (Combustion of Hydrogen) (احتراق غاز الهايدروجين)

$S + O_2 \rightarrow SO_2$ (Sulphur is one of the impurities of coal) (وجود الكبريت مع الشوائب)

$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$ (At temperatures >1800°C) (عند درجات حرارة اعلى من 1800 درجة مؤية)

$2C + O_2 \rightarrow 2CO$ (Incomplete combustion of carbon) (الاحتراق غير الكامل للكاربون)

Note that incomplete combustion may occurs when insufficient oxygen is supplied to the combustion chamber. That is why excessive quantity of air is required to ensure complete conversion of carbon. The mixture of gases that leave the chamber is called **flue gas**; it mainly consist of CO, CO_2, SO_2, N_2 and water vapour.

لاحظ أن الاحتراق غير الكامل قد يحدث عندما لا تُجهز كمية كافية من الأوكسجين الى وعاء الاحتراق. ولهذا السبب يلزم وجود كمية فائضة من الهواء لضمان التحويل الكامل للكاربون. يطلق على خليط الغازات المنبعثة من وعاء الاحتراق اسم **غاز المداخن**؛ وهو يتكون بشكل اساسي من CO و CO_2 و SO_2 و N_2 وبخار الماء.

3.6.3 Calorific Value of Fuels

3.6.3 القيمة الحرارية للوقود

Calorific value *is the amount of heat released when a unit mass of fuel is completely burnt in air.* It is also known as the **heating value** and has the units of kJ/kg. For example the calorific value of coal is 20 x 10^3 kJ/kg or 20 MJ/kg. Liquid and gaseous fuels have higher calorific values than coal. Tables of calorific values of for different fuels are available in relevant sources. Note that, calorific values may help in conducting energy balances on systems involving fuel combustion. Energy balance will be discussed in the next two chapters.

القيمة الحرارية هي *كمية الحرارة المنبعثة عند احتراق وحدة الكتلة من الوقود احتراقاً كاملاً في الهواء*. وتسمى أيضًا **قيمة التسخين** التي تقاس بوحدات كيلو جول/ كغم (kJ/kg). فعلى سبيل المثال، تبلغ القيمة الحرارية للفحم 20 × 10^3 كيلوجول/كغم أو 20 ميغاجول/كغم (MJ/kg). يتمتع الوقود السائل والوقود الغازي بقيم حرارية أعلى من الفحم، حيث تتوفر جداول القيم الحرارية لمختلف أنواع الوقود في المصادر ذات الصلة. وتجدر الاشارة هنا الى ان معرفة القيم الحرارية قد تساعد على إجراء موازنة الطاقة لمنظومات احتراق الوقود، وسوف نتناول موضوع موازنة الطاقة في الفصلين القادمين.

3.6.4 Excess Air

3.6.4 الهواء الفائض

Excess air *is the percentage of air required to provide sufficient oxygen for complete combustion of fuel above the stoichiometric requirement.* **Theoretical air** *is the quantity of air that contains the stoichiometric or theoretical quantity oxygen for the reaction.* The **percentage of excess air** is defined as follows

يعرف **الهواء الفائض** *على انه النسبة المؤية للهواء اللازمة لتوفير الأكسجين الضروري لاتمام عملية الاحتراق الكامل للوقود بكميات تتجاوز متطلبات تكافؤ العناصر في التفاعل الكيميائي*. اما **الهواء النظري** *فهو كمية الهواء التي تحتوي على كمية الأوكسجين النظري اي الكمية وفقاً لتكافؤ العناصر في التفاعل الكيميائي*. تحدد قيمة النسبة المؤية للهواء الفائض كما يلي

$$\% \text{ Excess air} = \frac{(\text{moles of air})_{in} - (\text{moles of air})_{theoretical}}{(\text{moles of air})_{theoretical}} \times 100 \qquad (3.9)$$

Example 3.15

المثال 3.15

Determine the theoretical oxygen and % excess air required for combustion of 100 kmol/h of methane with 1500 kmol/h of air.

اوجد مقدار الأوكسجين النظري ومقدار النسبة المئوية الهواء الفائض اللازم لاحتراق 100 كمول/ساعة من الميثان مع 1500 كمول/ساعة من الهواء.

Solution

الحل

Basis: 100 kmol/h of methane

الاساس للحسابات: 100 كيلومول/ساعة من الميثان

We first write the balanced chemical reaction equation:

نكتب أولاً معادلة التفاعل الكيميائي المتوازنة.

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

1 kmol of CO_2 + 2 kmol O_2 → 1 kmol CO_2 + 2 kmol H_2O

100 kmol/h of CO_2 + 200/h kmol O_2 → 100 kmol/h CO_2 + 200 kmol/h H_2O

Theoretical O_2 = 200 kmol/h — معدل جريان الاوكسيجين النظري

Air contains 21% oxygen, flow rate of oxygen = flow rate of air x 21%

Flow rate of air = flow rate of oxygen/21% — معدل جريان الهواء

Flow rate of theoretical air = 200/(21/100) = 952.38 kmol/h — معدل جريان الهواء النظري

$$\% \text{ Excess air} = \frac{(\text{moles of air})_{in} - (\text{moles of air})_{theoretical}}{(\text{moles of air})_{theoretical}} \times 100 \qquad \text{(Eqn. 3.9)}$$

$$\% \text{ Excess air} = \frac{1500 - 952.38}{952.38} \times 100 = \underline{57.5\%}$$

النسبة المئوية للهواء الفائض

Comments

الملاحظات

The % excess air was estimated on the assumption of complete combustion of methane. Different value will be obtained for incomplete or partial combustion.

قمنا بتخمين النسبة المؤية للهواء الفائض على افتراض الاحتراق الكامل للميثان، اما في حالة الاحتراق غير الكامل أو الاحتراق الجزئي فسنحصل على قيمة مختلفة لكمية الهواء الفائض .

Exercise

تمرين

Repeat the solution for flow rate of methane of 90 lmol/h and 47% conversion.

كرر الحل باعتيار معدل جريان غاز الميثان يساوي 90 كيلومول/ساعة ونسبة تحويله بحدود 47%.

3.6.5 Material balances for combustion Chemical Reactions

Material balance across combustion reactors, and furnaces is similar to any other reactor. The steps are:

1. Draw a flow chart to include feed flow rate and composition as well as product composition including non-reacting species.
2. Calculate the theoretical oxygen based on reaction stoichiometry.
3. Determine product composition by one of the methods used earlier. Molecular balance and extent of reaction methods are equally convenient.

3.6.5 موازنة المادة لتفاعلات الاحتراق الكيميائية

لا تختلف موازنة المادة عبر مفاعلات الاحتراق والافران الصناعية عن أي مفاعل آخر، والخطوات هي كما يلي:

1. ارسم مخطط البيانات الانسيابي ليشمل معدل جريان الخليط المغذي وتركيبته بالإضافة إلى نسب مكونات المُنتجات بما في ذلك العناصر غير المتفاعلة.
2. احسب كمية الأوكسجين النظري على أساس تكافؤ عناصر التفاعل الكيميائي.
3. حدد تركيبة المُنتج باحدى طرق موازنة المادة المستخدمة سابقاً، علماً إن طريقة موازنة الجزيئات وطريقة مدى تقدم التفاعل تلائم الحل بنفس القدر.

Example 3.16

Coal consists of 90% carbon and 10% non - combustible impurities. Determine

a- The amount of theoretical oxygen to burn 150 kg of coal completely.

b- The composition of gas mixture leaving the furnace for the supply of 55% excess air to the furnace.

المثال 3.16

يتكون احد نواع الفحم من 90% كاربون و10% شوائب غير قابلة للاحتراق. اوجد:

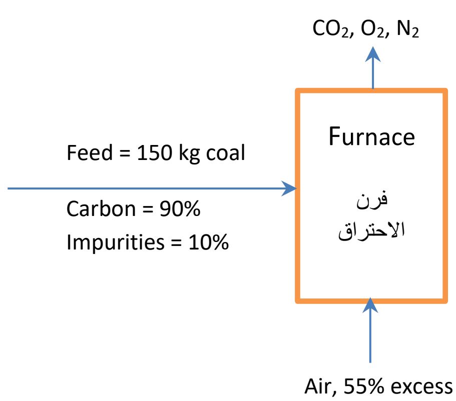
أ- كمية الأوكسجين النظري اللازمة لحرق 150 كغم من الفحم احراقاً كاملاً.

ب- نسب مكونات خليط الغازات التي تنطلق الى الجو عند تزويد فرن الاحتراق فائض من الهواء بنسبة 55%.

Solution

الحل

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ (complete combustion الاحتراق الكامل للكاربون)



Flow chart of the combustion system مخطط البيانات الانسيابي لعملية الاحتراق

Basis: 150 kg of coal feed — **الاساس للحسابات:** 150 كغم من الفحم الداخل

a- **First, we change mass to moles:** — **أ- نقوم بتحويل الكتلة الى مولات اولاً:**

Molecular weight of carbon = 12 = الوزن الجزيئ للكاربون

Molecular weight of oxygen = 32 = الوزن الجزيئ للاوكسيجين

(90/100) x 150 = 135 kg of carbon in the feed = كتلة الكاربون في الفحم

Number of moles of carbon = 135/12 = 11.25 kmol = عدد مولات الكاربون

1 kmol of C + 1 kmol of O_2 → 1 kmol CO_2 (according to stoichiometry حسب مبدأ تكافؤ العناصر)

Theoretical oxygen required = 11.25 kmol = الاوكسيجين النظري المطلوب

b- **To determine the composition of products, we need to find the amount of air fed to the furnace. ب- لتحديد نسب مكونات المنتجات يلزم تقدير كمية الهواء التي تدخل الفرن.**

Theoretical air = theoretical O_2 /0.21 (21% of air is oxygen)

Theoretical air = 11.25/0.21 = 53.571 kmol = كمية الهواء النظري

$$\% \text{ Excess air} = \frac{(\text{moles of air})_{in} - (\text{moles of air})_{theoretical}}{(\text{moles of air})_{theoretical}} \times 100 \qquad \text{(Eqn. 3.9)}$$

$$55 = \frac{(\text{moles of air})_{in} - 53.571}{53.571} \times 100$$

$(\text{moles of air})_{in}$ = 83.035 kmol = كمية الهواء التي تدخل الفرن

Oxygen in supplied air = 83.035 x (21/100) = 17.437 kmol =كمية الاوكسيجين المجهز

Excess oxygen = O_2 supplied – O_2 reacted

Excess oxygen = 17.437 – 11.25 = 6.187 kmol = كمية الاوكسيجين الفائض

Nitrogen in supplied air = 83.035 x (79/100) = 65.597 kmol = النايتروجين المجهز ضمن الهواء

Nitrogen in supplied air = nitrogen in flue gas , (النايتروجين المجهز = النايتروحين في الغازات المنبعثة)

Flue gas Composition: — **نسب مكونات غاز المداخن:**

Component	kmol	mole fraction	mole %
CO_2	11.25	0.13548	13.548
O_2	6.187	0.07451	7.451
N_2	65.597	0.7900	79.00
Total	83.034	1	100

Comments

Impurities weren't specified for the coal; it may contain sulphur, ash and some moisture. The coal mentioned in the example is probably similar to charcoal.

الملاحظات

لم يحدد نوع الشوائب في الفحم، فقد يحتوي على الكبريت والرماد او على نسبة معينة من الرطوبة. وربما يكون نوع الفحم المذكور في المثال مشابه لفحم الخشب.

Exercise

Solve the example using Excel.

تمرين

حل المثال باستخدام برنامج الاكسيل.

Example 3.17

The flowing table depicts the weight composition of coal:

المثال 3.17

يبين الجدول التالي النسب الوزنية لتركيبة الفحم:

Component	kg %
C	70.00
H	4.00
S	0.74
N	1.75
O	7.80
Water	10.71
Ash	5.00
Total	100

The coal is burnt in an industrial furnace and the gravimetric analysis of the dry flue gas:

يُحرق الفحم في فرن صناعي معين ويبين الجدول في ادناه التحليل الوزني لغاز المداخن الجاف المنبعث:

Component	mole%
CO_2	15.6
O_2	4.2
N_2	80.2
Total	100

Calculate the % excess air required for complete combustion of the coal.

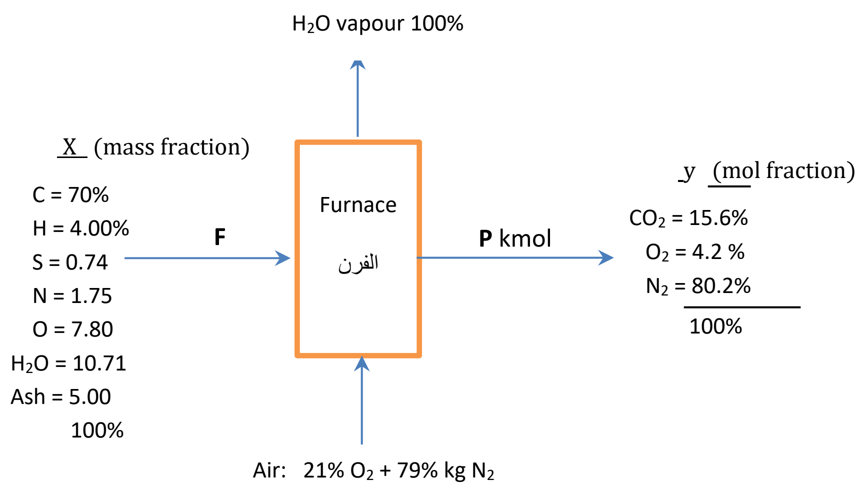
احسب النسبة المؤية للهواء الفائض اللازم لاتمام عملية احتراق الفحم.

Solution

الحل

The flowchart for the combustion process is shown below.

مخطط البيانات الانسيابي لعملية الاحتراق موضح في ادناه.



Basis: 100 kg coal

الاساس للحسابات: 100 كغم من الفحم

Chemical reactions:

التفاعلات الكيميائية:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$
$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$
$$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$$

The total oxygen required for combustion = (O_2 reacted with C + O_2 reacted with S + O_2 reacted with H) - O_2 present in coal

100 kg of coal contains 70 kg of carbon which is 70/12 = 5.833 kmol

Thus O_2 reacted with C = 5.833 kmol = عدد مولات الاوكسجين التي تتفاعل مع الكاربون

100 kg of coal contains 0.74 kg of S, which is 0.7/32 = 0.02187 kmol

O_2 reacted with S = 0.02187 kmol = عدد مولات الاوكسجين التي تتفاعل مع الكبريت

100 kg of coal contains 4.0 kg of H_2, which is 4.0/2 = 2.0 kmol

O_2 reacted with H_2 = 2.0/2 = 1.0 kmol = عدد مولات الاوكسجين التي تتفاعل مع الهايدروجين
(1 mole of H_2 reacts with ½ mole of O_2)

O_2 present in 100 kg coal = 7.8 kg = 7.8/32 = 0.2437 kmol = الاوكسيجي الموجود في الفحم

Total O_2 = (5.833 + 0.02187 + 1) - 0.2437 = 6.611 kmol/h الاوكسيجين النظري

O_2 = 21 mole% of air

Theoretical air required = 6.611/0.21 = 31.480 kmol كمية الهواء النظري المطلوبة

We now perform material balance on the nitrogen to find out the amount of air supplied to the furnace.

نجري الان موازنة الماد ة على النايتروجين لمعرفة كمية الهواء المجهزة للفرن.

The products contain 80.2% nitrogen. Thus, we need to determine P first.

لما كانت المنتجات تحتوي على 80.2٪ نايتروجين لذا نحتاج إلى تحديد قيمة P أولاً.

Total balance on carbon atoms: **موازنة المادة الاجمالية على ذرات الكاربون:**

Moles of C in feed = 5.833 kmol (عدد مولات الكاربون معلومة)

Moles of C in product = moles of CO_2 = 15.6% x P (because 1 mole of CO_2 has 1 atom of C (لان كل جزيئة من ثاني اوكسيد الكاربون تحتوي على ذرة واحدة من الكاربون)

5.833 = 0.156 x P , P = 5.833/0.156 = 37.391 kmol

Balance on nitrogen: **موازنة المادة للنايتروجين:**

Nitrogen supplied with air + Nitrogen in 100 kg f feed) = 0.802 x P

Nitrogen supplied with air + (1.75/28) = 0.802 x 37.391

Nitrogen supplied with air = 29.925 kmol كمية النايتروجين في الهواء المجهز

Nitrogen = 0.79 x Air

Air supplied = 29.925/0.79 = 37.8797 kmol = كمية الهواء المجهز

$$\% \text{ Excess air} = \frac{(\text{moles of air})_{\text{in}} - (\text{moles of air})_{\text{theoretical}}}{(\text{moles of air})_{\text{theoretical}}} \times 100 \qquad \text{(Eqn. 3.9)}$$

$$\% \text{ Excess air} = \frac{37.8797 - 31.480}{31.480} \times 100 = \underline{20.329\%}$$ = النسبة المؤية للهواء الفائض

Comments

الملاحظات

1. We used the **atomic material balance** on the carbon. Because, the number of moles of reaction elements can be determined based on the balance of atoms that make up the element or compound.

1. استخدمنا **موازنة المادة الذرية** على الكربون، حيث يمكن تحديد عدد مولات عناصر التفاعل بناءً على موازنة الذرات التي يتكون منها العنصر أو المركب.

2. Note that we didn't make use of the ash and water content of coal to solve the example. The results of dry gas analyses were sufficient for that purpose.

2. لاحظ أننا لم نستخدم محتوى الفحم من الرماد والماء في حل المثال، وكانت نتائج تحليل الغازات الجافة كافيا لهذا الغرض.

Exercise

تمرين

Solve the example based on burning 10 tons of coal in the furnace. Compare the required air supply in both cases.

قم بحل المثال استناداً الى حرق 10 طن من الفحم في الفرن. قارن بين كميات الهواء اللازم تجهيزها لكلتا الحالتين.

Example 3.18

المثال 3.18

A combustion reactor is fed with 75 kmol of octane and 6000 kmol of air. Determine the composition of the dry flue gas and the ratio of water to dry flue gas. Assume complete combustion of octane.

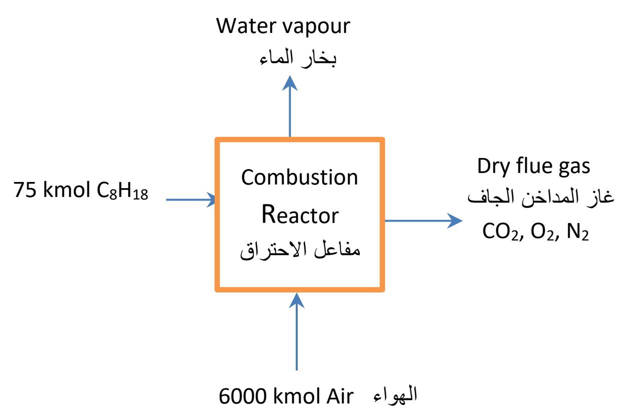
يُغذى مفاعل الاحتراق بـ 75 كيلومول من الأوكتان و 6000 كيلو ول من الهواء. حدد تركيبة غاز المداخن الجاف ونسبة الماء إلى غاز المداخن الجاف. افترض الاحتراق الكامل للأوكتان.

Solution

الحل

The flow chart for the combustion system is shown below.

مخطط البياتنت الانسيابي للمنظومة موضح في ادناه.



$$C_8H_{18} + 12.5\ O_2 \rightarrow 8CO_2 + 9\ H_2O$$

<u>Basis:</u> 75 kmol of octane

<u>الاساس للحسابات:</u> 75 كيلومول من الوكتان

O_2 supplied = 21% of air = (21/100) 6000 =1260 kmol

Theoretical oxygen:

كمية الاوكسجين النظري:

1 kmol C_8H_{18} reacts with 12.5 O_2

75 kmol of C_8H_{18} reacts with 12.5 x 75 = 937.5 kmol of O_2

Excess O_2 = 1260 – 937.5 = 322.5 kmol of oxygen remain in the flue gas
هذا هوعدد مولات الاوكسيجين المتبقي في غازالمداخن

According to the reaction stoichiometry: وبموجب مبدأ تكافؤ العناصر في معادلة التفاعل الكيميائي:

1 kmol of C_8H_{18} → 8 kmol of CO_2

75 kmol of C_8H_{18} → 8 x 75 = 600 koml of CO_2

1 kmol of C_8H_{18} → 9 kmols of H_2O

75 kmol of C_8H_{18} → 9 x 75 H_2O = 675 kmol of water vapour = كمية بخار الماء

Nitrogen in excess air = ($Air_{supplied}$ – Theoretical Air) x 79%

Theoretical air = theoretical oxygen/0.21 =937.5/0.21 = 4464.28 kmol = الهواء النظري

Nitrogen in in excess air = ($Air_{supplied}$ – Theoretical Air) x 79% =
(6000 - 4464.28) x 0.79 = 1213.22 kmol
هذه هي كمية النايتروجين في الهواء الفائض

$\sum n_i$ (flue gas) = CO_2 + O_2 + N_2 = 600 + 322.5 + 1213.22 = 2135.72 kmol

$Y= n_i/\sum n_i$

y_{CO2} = 600/2135.72 = 0.2809

y_{O2} = 322.5/2135.72 = 0.1510

y_{N2} = 1213.22/2135.72 = 0.5680

Composition of dry flue gas: **نسب مكونات غاز المداخن الجاف:**

Component	kmol	Mole fraction	mol %
CO_2	600	0.2809	28.09
O_2	322.5	0.1510	15.10
N_2	1213.22	0.5680	56.80
Total	2135.72	1	100

Ratio of water to dry flue gas: نسبة الماء الى غاز المداخن الجاف:

Number of moles of water/moles of flue gas = 675/2135.72 = 0.316

Comments

Octane is normally treated to remove acid gases, therefore the combustin products don’t contain sulphur dioxide.

الملاحظات

يعالج الأوكتان عادة لازالة الغازات الحامضية ، لذلك فإن منتجات الاحتراق لا تحتوي على ثاني أوكسيد الكبريت.

Exercise

If the combustion reactor is fed with 65 mol of butane and 3000 kmol of air, what will be the composition of the dry fue gas?

تمرين

اذا تم تغذية مفاعل الاحتراق بـ 65 كيلومول من البروبان مع 3000 كيلومول من الهواء. فما هي نسب مكونات غاز المداخن الجاف؟

Example 3.19

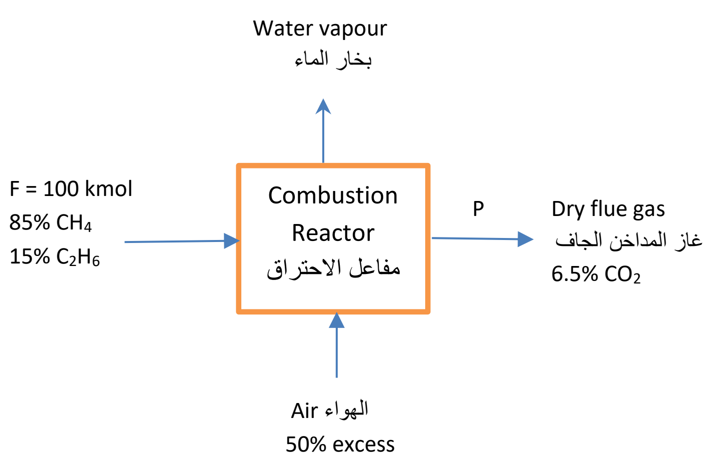
A gas mixture consists of 85 mole% methane and 15 mole% ethane. The gas mixture was completely burned with air and the flue gas found to contain 6.5 mole% of carbon dioxide. Determine the percentage of excess air.

المثال 3.19

يتكون خليط غازات من 85 مول% من الميثان و 15 مول% من الإيثان. أحرِقَ الخليط بالكامل مع الهواء ووجد أن غاز المداخن يحتوي على 6.5 مول% من ثاني أكسيد الكاربون، حدد النسبة المؤية للهواء الفائض.

Solution

الحل



$$CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

$$C_2H_6 + 3.5\ O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$$

<u>Basis:</u> 100 kmol of gas feed

<u>الاساس للحسابات:</u> 100 كيلومول من الخليط المغذي

Theoretical oxygen for methane reaction: كمية الاوكسيجين النظري لتفاعل الميثان:

According to stoichiometry: وبموجب مبدأ تكافؤ العناصر:

1 mole of CH_4 reacts with 2 moles of O_2

1 mole of C_2H_6 reacts with 3.5 moles of O_2

85 kmol of CH_4 reacts with 80 x 2 = 160 kmol O_2

15 kmol C_2H_6 reacts with 3.5 x 15 = 52.5 kmol O_2

Total theoretical oxygen = 160 + 52.5 = 212.5 kmol = اجمالي الاوكسيجين النظري

Theoretical air = 212 /0.21 = 1011.90 kmol = كمية الهواء النظري

The amount of air supplied can be found from the CO_2 in the flue gas.
يمكن ايجاد كمية الهولاء المجهز استناداً الى كمية ثاني اوكسيد الكاربون في خليط الغاز المنبعث.

First, we find the quantity of the flue gas P, then subtract the amount of CO_2. The remainder will contain the amount of nitrogen from the theoretical air plus the amount of excess air.
اولاً، نحدد كمية غاز المداخن P، ثم نطرح كمية ثاني أوكسيد الكربون منها. سيحتوي الغاز المتبقي على كمية النايتروجين الموجود في الهواء النظري بالإضافة إلى كمية الهواء الفائض.

CO_2 formed by first reaction = 85 kmol

CO_2 formed by second reaction = 15 x 2 = 30 kmol

Total CO_2 = 85 + 30 = 115 kmol = كمية ثاني اوكسيد الكاربون الاجمالية

115 = P x 0.065

P = 1769.230 kmol = كمبة الغازات المنبعثة الجافة

P = Excess air + theoretical N_2 + CO_2

Theoretical N_2 = 0.79 x theoretical air = 0.79 x 1011.90 = 799.401 kmol

P =1769.230 = excess air + theoretical N_2 + CO_2 = (excess air + 799.401 + 115)

Excess air = 854.829 kmol = كمية الهواء الفائض

$$\% \text{ Excess air} = \frac{(\text{moles of air})_{\text{in}} - (\text{moles of air})_{\text{theoretical}}}{(\text{moles of air})_{\text{theoretical}}} \times 100 \qquad \text{(Eqn. 3.9)}$$

$$\% \text{ Excess air} = \frac{\text{moles of excess air}}{(\text{moles of air})_{\text{theoretical}}} \times 100 = \frac{854.829}{1011.900} \times 100 = \underline{85.32\%}$$

Exercise

Solve the example using Excel.

تمرين

حل المثال باستخدام برنامج الاكسيل.

Example 3.20

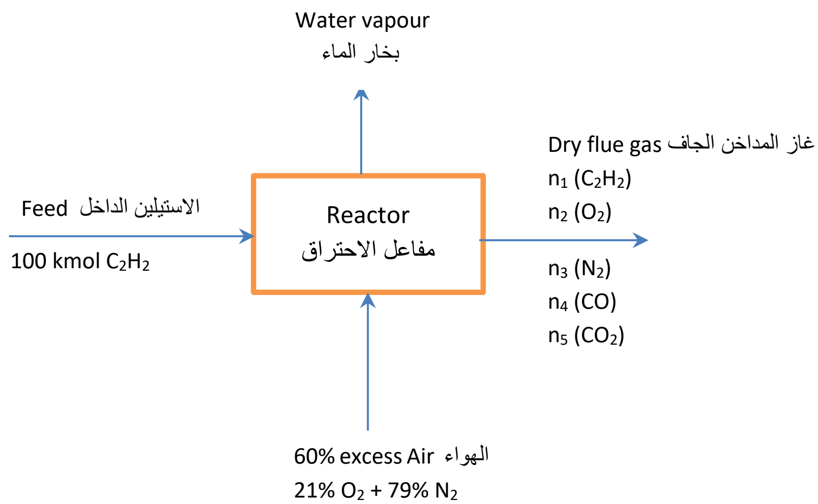
Acetylene (C_2H_2) is burnt with 60% excess air. The conversion of acetylene is 92%, 30% of the gas reacts to form CO and the rest reacts to form CO_2. Determine the flue gas composition on a dry basis.

المثال 3.20

يحرق الأسيتيلين (C_2H_2) مع الهواء بفائض من الهواء قدره 60%. اذا كانت نسبة تحويل الأسيتيلين 92%، وكان 30% من الغاز يتفاعل لتكوين اول أكسيد الكربون (CO) والباقي يتفاعل لتكوين ثاني أكسيد الكربون (CO_2). حدد نسب مكونات غاز المداخن الجاف.

الحل

Solution



$$C_2H_2 + 1.5O_2 \rightarrow 2CO + H_2O$$

$$C_2H_2 + 2.5O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O$$

الاساس للحسابات: 100 كيلومول من الاسيتلين

Basis: 100 kmol of C_2H_2

For reaction 1, 92% conversion: **التفاعل 1، نسبة التحويل 92%:**

C_2H_2 reacted = 100 x (30/100) x (92/100) = 27.6 kmol

1 kmol of C_2H_2 reacts with 1.5 kmols of oxygen

Theoretical oxygen = 27.6 x 1.5 = 41.4 kmol

For reaction 2, 92% conversion: **التفاعل 2، نسبة التحويل 92%:**

C_2H_2 reacted = 100 x (70/100) x (92/100) = 64.4 kmol

1 kmol of C_2H_2 reacts with 2.5 kmols of oxygen

Theoretical oxygen = 64.4 x 2.5 = 161 kmol

Total theoretical oxygen= 41.4 + 161 = 202.4 kmol

Theoretical air = 202.4/0.21 = 963.809 kmol

$$\% \text{ Excess air} = \frac{(\text{moles of air})_{\text{in}} - (\text{moles of air})_{\text{theoretical}}}{(\text{moles of air})_{\text{theoretical}}} \times 100 \qquad \text{(Eqn. 3.9)}$$

$$60 = \frac{(\text{moles of air})_{\text{in}} - 963.809}{963.809} \times 100$$

$(\text{moles of air})_{\text{in}}$= (60/100 x 963.809) + 963.809 = 1542.094 kmol كمية الهواء الداخل

Oxygen in air supply = 1542.094 x 0.21 = 323.839 kmol = كمية الاوكسيجين في الهواء المجهز

Oxygen remains in flue gas n_2 (O_2) = 323.839 - 202.4 = 121.439 kmol = الاوكسيجين المتبقي

Nitrogen in air supply = 1542.094 x 0.79 = 1218.252 kmol = كمية النايتروجن في الهواء المجهز

The nitrogen does not react, n_3 (N_2) =1218.252 kmol النايتروجين يبقى كما هو دون تفاعل

The acetylene reacted = 100 x 0.92= 92 kmol = كمية الاستيلين المتفاعل

Acetylene remaining in flue gas n_1 (C_2H_2) = 100 - 92 = 8 kmol = كمية لاستيلين المتبقي

1 kmol of C_2H_2 → 2 kmol of CO According to reaction 1 حسب التفاعل الاول

Carbon monoxide formed n_4 (CO) = 2 x 27.6 = 55.2 kmol = كمية ثاني اوكسيد الكاربون المتولد

1 kmol of C_2H_2 → 2 kmol of CO_2 According to reaction 2 التفاعل الثاني

Carbon dioxide formed n_5 (CO_2) = 64.4 x 2 = 128.8 kmo = كمية ثاني اوكسيد الكاربون المتولد

Composition of dry flue gas:

نسب مكونات غاز المداخن الجاف:

Component i	n_i kmol	mole fraction y_i $y_i = n_i/\sum n_i$	mole % = yi x 100
C_2H_2	8	0.00522	0.522
O_2	121.439	0.07928	7.928
N_2	1218.252	0.79536	79.536
CO	55.2	0.03603	3.603
CO_2	128.8	0.08409	8.409
∑	1531.691	1	100

Comments

We determined the flue gas composition on dry basis. If the water vapour is included in the flue gas, we can evaluate the composition on wet basis.

الملاحظات

لقد حددنا تركيبة غاز المداخن على أساس خليط الغازات الجاف. إذا أدرج بخار الماء في تركيبة غاز المداخن، فيمكننا تقييم التركيبة على أساس خليط الغازات الرطب.

Exercise

Estimate the flue gas composition on a wet basis.

تمرين

حدد نسب مكونات غاز المداخن على أساس خليط الغاز الرطب.

Review Questions and Problems

اسئلة المراجعة والمسائل

Basic Concepts

المفاهيم الاساسية

3.1 What is a bypass? Why is it used in industry? Give examples of typical bypass processes.

3.1 ما القصود بممر التجاوز؟ لماذا يستخدم في المجال الصناعي؟ اذكر بعض الامثلة لعمليات صناعية تشتمل على ممرات للتجاوز.

3.2 How do you conduct material balance for an industrial equipment with a bypass?

3.2 كيف تقوم باجراء موازنة المادة لاحد المعدات الصناعية بوجود ممر للتجاوز؟

3.3 Explain the difference between a bypass and a recycle stream. Illustrate your answer by some simple sketches.

3.3 اشرح الفرق بين ممر التجاوز ومجرى إعادة التدوير. وضح إجابتك ببعض الرسومات البسيطة.

3.4 Why is material balance over a bypass or a recycle line considered as an introduction to multi-unit balance?

3.4 لماذا تُعد موازنة المادة عبر ممر التجاوز أو خط إعادة التدوير بمثابة مقدمة لموازنة الوحدات المتعددة؟

.3.5 how do you start a material balance for two industrial units?

3.5 كيف تبدأ اجراء موازنة المادة لوحدتين صناعيتين؟

3.6 Draw a flow chart for two industrial units showing the dotted blocks required for material balances.

3.6 ارسم مخططًا انسيابيًا لوحدتين صناعيتين يتضح فيه المربعات المنقطة المطلوبة لاجراء موازنة المادة.

3.7 How does a bypass or a recycle line impact the material balance for two industrial units?

3.7 كيف يؤثر ممر التجاوز أو خط إعادة التدوير على موازنة المادة لوحدتين صناعيتين؟

3.8 What is a chemical reactor? Search the Internet to find out the different types of chemical reactors.

3.8 ما المقصود بالمفاعل الكيميائي؟ ابحث في الإنترنت لتتعرف على الأنواع المختلفة للمفاعلات الكيميائية.

3.9 Balance the the following chemical reaction equations.

3.9 قم بموازنة معادلات التفاعلات الكيميائية التالية.

$NaCl + H_2O \rightarrow NaOH + H_2 + Cl_2$

$C_7H_{16} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$

$NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO3 + CO_2 + H_2O$

$KHSO_4 + S \rightarrow K_2S_3O_6 + K_2S_2O_3 + H_2O$

3.10 Define conversion, yield and selectivity>

3.10 عرف كل من التحويل و الانتاجية و الانتقائية.

3.11 How do you know which one of the reacting species is the limiting reactant?

3.11 كيف يمكنك معرفة اي من العناصر المتفاعلة هو المتفاعل المحدد؟

3.12 Define the extent of reaction and explain how it is applied to identify the limiting and excess reactants.

3.12 عرف مدى تقدم التفاعل ووضح كيفية تطبيقه في تحديد المادة المتفاعلة المحدد ة والمادة الفائضة.

3.13 For a given chemical reaction, show how the extent of reaction concept is used in material balance calculations.

3.13 وضح كيفية استخدام مفهوم مدى تقدم التفاعل في حسابات موازنة المادة لتفاعل معين.

3.14 What is the difference between single pass conversion and overall conversion?

3.14 ما الفرق بين التحويل احادي المسار والتحويل الشامل؟

3.15 Explain how recycle affects conversion in a chemical reactor (single pass conversion).

3.15 اشرح كيف يؤثر اعادة التدوير على التحويل في المفاعل الكيميائي (التحويل احادي المسار).

3.16 Write an essay about combustion.

3.16 اكتب ماتعرفه عن عملية الاحتراق.

Recycle and Bypass Calculations

حسابات الممر العابر ومجرى اعادة التدوير

3.17 A mixture containing 17 mole% solids (A) and 83 mole % water is fed an evaporator. It is required to concentrate the mixture. A bypass is therefore required to adjust the concentration of the evaporator output from 56% to 46%. Calculate (a) the number of moles of mixture that bypassed the evaporator and (b) the amount of the final product from the evaporator (c) the amount of mixture entered the evaporator.

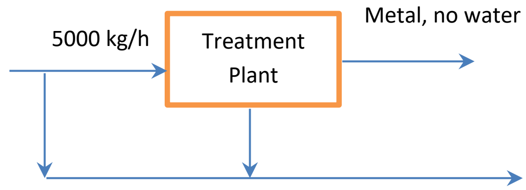
3.17 يُغذى خليط من السائل والصلب يحتوي على 17 مول% من المادة الصلبة (A) و 85 مول% من الماء الى جهاز التبخر، حيث يتطلب زيادة تركيز الخليط في المبخر. يلزم وجود ممر جانبي يتجاوز المبخر لتعديل تركيز المُنتج الخارج من المبخر من 56 % إلى 46%. احسب (أ) عدد مولات الخليط في ممر التجاوز للمبخر و (ب) كمية المُنتج النهائي من المبخر و (ج) كمية الخليط الذي يدخل الى المبخر.

3.18 A liquid-solid mixture containing 63% liquid by weight is dried to contain 5% liquid. Hot air is recycled to save some of the thermal energy supply to the drier. The recycled air entering the drier carries 0.46 kg of liquid per kg of dry air. The air stream at the exit of the dryer contains 0.94 kg of liquid per kg of dry air. If the amount of dried product is 250 kg/h, determine the amount of recycled dry air.

3.18 يُجفف خليط من السائل والصلب لتقليل النسبة المؤية الوزنية للسائل من 63% الى 5%. يُعاد تدوير الهواء الساخن لتوفير بعض إمدادات الطاقة الحرارية للمجفف. يحمل الهواء المعاد تدويره 0.46 كغم من السائل لكل كغم من الهواء الجاف. ويحتوي تيار الهواء الخارج من المجفف على 0.94 كغم من السائل لكل كغم من الهواء الجاف. إذا كانت كمية المُنتج المجفف 250 كغم في الساعة، اوجد كمية الهواء الجاف المعاد تدويره.

3.19 Waste water containing small amount of metallic material is fed to a treatment plant of 5000 kg/h capacity at the rate of 7000 kg/h. The water contains 6.2% metal and the excess waste water is discharged with the water leaving the plant, as shown below. If 95% of the metal is recovered, find the flow rate and the percentage of metal in the water leaving the plant.

3.19 يدخل الماء المحمل بكمية صغيرة من المواد المعدنية إلى محطة معالجة بمعدل 7000 كغم/ساعة علماً ان السعة الاستيعابية للمحطة لا تتجاوز 5000 كغم/ساعة. يحتوي الماء على 6.2% من المعدن، ويتم تصريف الفائض منه مع الماء الخارج من المحطة كما هوموضح في ادناه. فإذا كانت كمية المعدن المصفى تساوي 95% من كمية المعدن الداخل، اوجد معدل جريان الماء الخارج من المحطة وكذلك نسبة المعدن الموجود فيه.



Ans. 658.77 kg/h 0.329% الجواب

3.20 A distillation tower operates with a reflux ratio of 2.5 to separate acetaldehyde from ethanol. The feed is made up of 45 mole% ethanol and 55 mole % acetaldehyde. The bottom product contains 5 mole% acetaldehyde. Based on 100 kmol/h feed and 195 kmol/h of vapour generated at the top of the tower, calculate the composition of the distillate.

3.20 يعمل برج التقطير بنسبة ارتجاع مقدرها 2.5 لفصل مادة الأسيتالديهيد عن الإيثانول. يتكون الخليط الداخل للبرج من 45 مول٪ إيثانول و 55 مول٪ أسيتالدهايد، ويحتوي المُنتج السفلي على 5 مول% أسيتألدهايد. إستنادًا إلى تغذية البرج بمعدل 100 كيلومول/ساعة وتوليد 195 كيلومول/ساعة من البخار في أعلى البرج، احسب نسب مكونات السائل المتقطر.

Ans. 94.7% acetaldehyde, 5.3% Ethanol الجواب

3.21 A distillation tower is used to separate Benzene from toluene. The feed mixture consists of 54 mole % benzene and enters the tower at a rate of 75 kmol/h. The bottom product carries 3 mole % benzene. Considering a fixed value of 150 kmol/h for the flow rate of vapour at the top of the tower, plot a graph for fraction of benzene in the top product (x_D) verses recycle ratio (R = L/D). Assume reflux ratio values of 1.5, 1.75, 2, 2.25 and 2.5.

3.21 يستخدم برج تقطير لفصل البنزين عن التوليوين. يتكون خليط التغذية من 54 مول % بنزين الذي ويدخل البرج بمعدل 75 كمول/ساعة. اذا كان المُنتَج السفلي يحمل 3 مول من البنزين، فاستناداً الى قيمة ثابتة لمعدل تدفق البخار في أعلى البرج عند 150 كمول/ساعة، ارسم رسمًا بيانيًا يبين نسبة البنزين (x_D) في المنتج العلوي مقابل نسبة الارتجاع (R = L/D)، مفترضاً قيم نسبة الارتجاع التالية: 1.5 و1.75 و2 و2.25 و2.5.

3.22 Use excel to solve problem 3.20. What does the shape of the graph indicate?

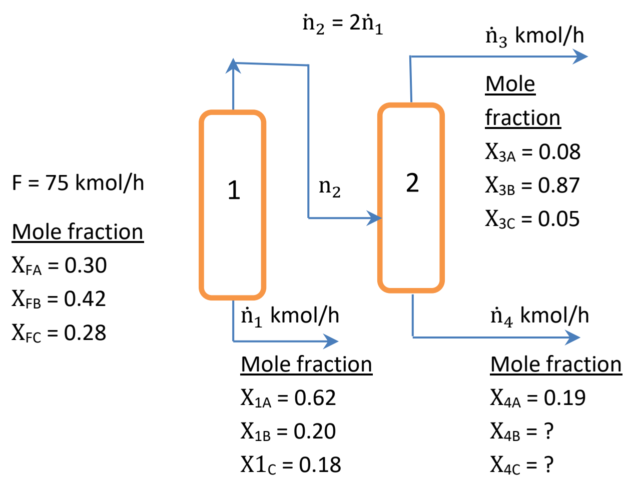
3.22 استخدم برنامج الاكسيل لحل المسألة 3.20. ماذا تستنتج من شكل الخط البياني؟

Material Balance for more than one unit

موازنة المادة لاكثر من وحدة صناعية

3.23 In an industrial separation process for a mixture of A, B and C, the following flow chart is provided:

3.23 يتضح في الشكل ادناه مخطط البيانات الانسيابي لعملية فصل صناعية تخص خليط (A) و (B) و (C):



Perform the following material balances to calculate the unknown flow rates and the mole fractions x_{4B} and x_{4c} of the final bottom product:

a. Total material balance for separator 1 and separator 2
b. Overall Component balance on A
c. Overall Component balance on B

قم بإجراء موازنات المادة التالية لحساب قيم معدل الجريان المجهولة والكسور المولية (x_{4B}) و (x_{4c}) للمُنتج النهائي في الاسفل:

أ. موازنة اجمالية لجهازي الفصل 1 و 2

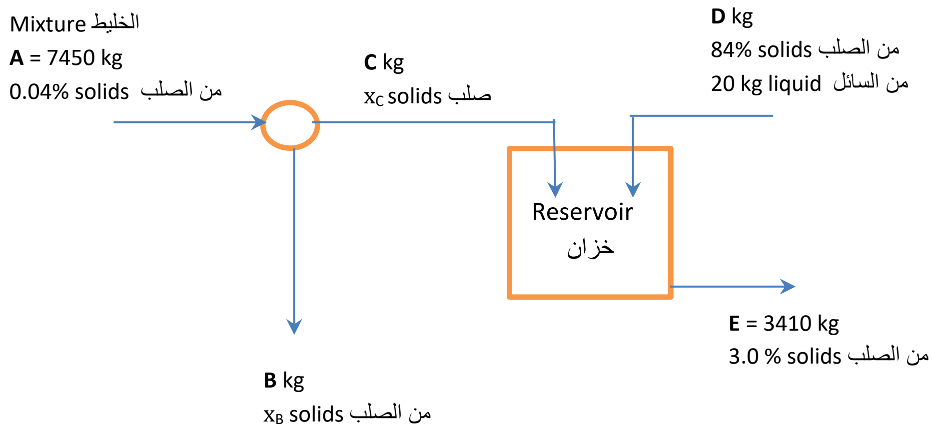
ب. موازنة شاملة للمكون (A) عبر الجهازين

ج. موازنة شاملة للمكون (B) عبر الجهازين

Ans. $\dot{n}_1$= 25 kmol/h, $\dot{n}_2$ = 50 kmol/h, $\dot{n}_3$ = 22.73 kmol/h, $\dot{n}_4$ = 27.27 kmol/h, الجواب
x_{4B} = 0.2466, x_{4C} = 0.7534

3.24 The flow chart below shows the batch production line to separate solids from a liquid-solid mixture. Find the unknown quantities in kilograms.

3.24 يوضح مخطط البيانات الانسيابي في ادناه خط انتاج يعمل بالدفعات لفصل المواد الصلبة من خليط سائل - صلب. أوجد الكميات المجهولة بوحدات الكيلو غرام.

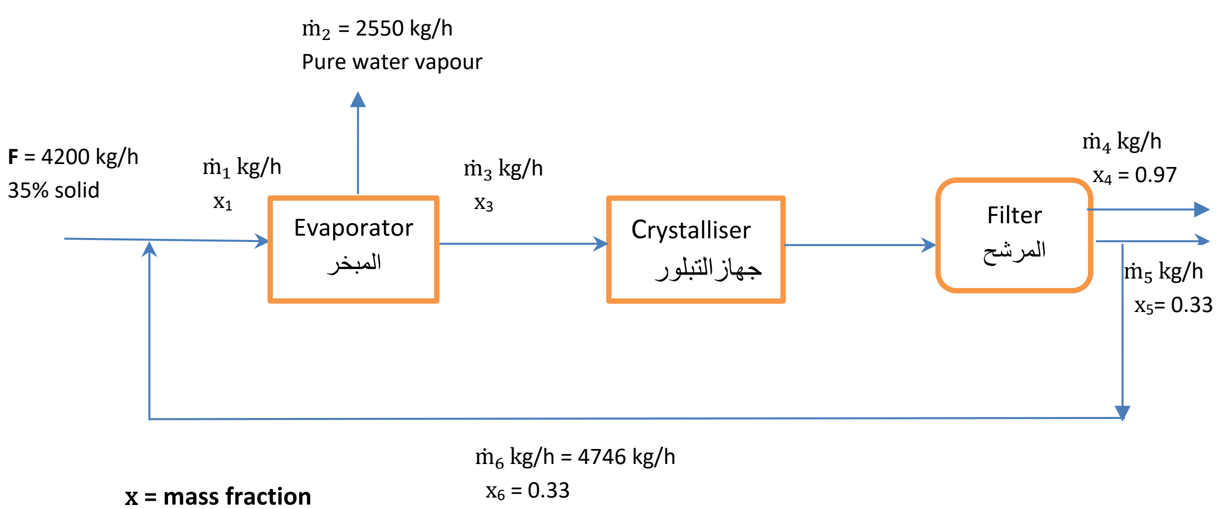


x_B = mass fraction = kg solids/B

Ans. B = 3906.67 kg, x_B = 0.00358, C = 3543.33 kg, x_C = 0.0604, D =133.33 kg. الجواب

3.25 The flow chart of a crystallisation process is shown below, determine the flow rates and mass fraction at the inlet and outlet of the evaporator.

3.25 يوضح مخطط البيانات النسيابي في الشكل ادناه عملية تبلور لمادة معينة، اوجد معدل الجريان والكسر الوزني في مدخل ومخرج المبخر.



x = mass fraction

Material balance with chemical reactions

موازنة المادة بوجود التفاعلات الكيميائية

Molecular weights can be obtained from relevant sources	*يمكن الحصول على الأوزان الجزيئية من المصادر ذات الصلة*

3.26 Calcium carbonate, containing 2% of inert material, decomposes on heating to calcium oxide and carbon dioxide.

3.26 تحتوي كربونات الكالسيوم على 2% من المواد الخاملة، وتتحلل عند التسخين إلى أوكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون.

a- Find molecular weights and write a balanced chemical equation for the decomposition of calcium carbonate.

b- Determine the mass of calcium oxide and carbon dioxide produced for complete decomposition of 1200 kg of carbonate.

أ- أوجد الأوزان الجزيئية واكتب معادلة كيميائية موزونة لتحلل كربونات الكالسيوم.

ب- حدد كتلة أوكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون الناتج عن التحلل الكامل لـ 1200 كغم من الكاربونات.

3.27 Carbon monoxide (CO) reacts with hydrogen (H_2) to produce methanol (CH_3OH). If 45 kmols of CO reacted,

3.27 يتفاعل أول أوكسيد الكربون (CO) مع الهايدروجين (H_2) لإنتاج الميثانول (CH_3OH). فاذا تفاعل 45 كيلو مول من ثاني أوكسيد الكربون،

a- Write a balanced equation for the reaction.

b- Find the amount of ethanol formed.

c- If the conversion of CO is 85%, determine the amount of CO in the feed.

أ- اكتب المعادلة المتوازنة للتفاعل.

ب- أوجد كمية الإيثانول المتولدة.

ج- إذا كانت نسبة التحويل لغاز CO تساوي 85% حدد كميته في خليط التغذية.

3.28 If the feed in the previous problem is 700 kg, specify the limiting and excess reactant.
Use the extent of reaction concept to check the results.

3.28 اذا كانت كتلة خليط التغذية في المسألة السابقة تساوي 700 كغم، حدد المادة المتفاعلة المحددة والمادة المتفاعلة الفائضة.
استخدم مفهوم مدى تقدم التفاعل للتحقق من النتائج

3.29 Consder the following gaseous balanced reactions of chlorine to form alkyl chloride:

3.29 تأمل التفاعلات الغازية المتوازنة التالية لانتاج كلوريدات الأكيل من الكلور:

$$Cl_2 + C_3H_6 \rightarrow C_3H_5Cl + HCl$$

$$Cl_2 + C_3H_6 \rightarrow C_3H_6Cl_2$$

The analysis results of the products after some time are

نتائج تحليل المنتجات بعد مرور بعض الوقت هي

Component	kmol
Cl_2	140
C_3H_6	650
C_3H_5Cl	4.7
$C_3H_6Cl_2$	24
HCl	5

Find:

a- The mass in kg of Cl_2 in the feed.
b- The limiting and excess reactants
c- % conversion of C_3H_6 to C_3H_6Cl
d- Selectivity of C_3H_5Cl relative to $C_3H_6Cl_2$
e- The extent of reaction for the two reactions

اوجد:

أ- كتلة (Cl_2) بوحدات الكيلوغرام في خليط التغذية.
ب- المادة المتفاعلة المحددة والمادة المتفاعلة الفائضة
ج - النسبة المؤية لتحويل (C_3H_6) إلى (C_3H_6C)
د- إنتقائية (C_3H_5Cl) نسبة إلى ($C_3H_6Cl_2$)
هـ- مدى تقدم التفاعل لكل من التفاعلين

Ans. a- 5988.85 kg, b- limiting reactant Cl_2, excess reactant C_3H_6 c- 4.228%, d - 0.195, e- 4.7 & 24 الجواب

3.30 In the reaction of magnesium with nitric acid to produce magnesium nitrate $(Mg(NO_3)_2$ 45 kmols magnesium and 120 kmols of HNO_3 are fed to the reactor. If the product stream contains 40 kmol $Mg(NO_3)_2$, calculate the percentage conversion of the limiting reactant to nitrate.

3.30 يدخل 45 كيلومول من المغنيسيوم مع 120 كيلومول من حامض النايتريك إلى المفاعل لإنتاج نايترات المغنيسيوم [$(Mg(NO_3)_2)$]، إذا كان مجرى المنتجات يحتوي على 40 كيلومول من النايترات، احسب النسبة المئوية لتحويل المادة المتفاعلة المحددة إلى النايترات.

Ans. 88.88% الجواب

3.31 As in the previous problem, 45 kmol of magnesium and 120 kmol of nitric acid enter the reactor to produce magnesium nitrate $[Mg(NO_3)_2]$.

3.31 يدخل 45 كيلومول من المغنيسيوم و120 كيلومول من حامض النايتريك إلى المفاعل لإنتاج نايترات المغنيسيوم [$(Mg(NO_3)_2)$] كما ورد في المسألة السابقة،

a- What is the mass of Magnesium required to produce 80 kg of hydrogen?
b- What is the value of extent of reaction based on hydrogen?
c- Find the number of moles of Mg and HNO_3 in the product based on extent of reaction.

أ- ما هي كتلة المغنيسيوم اللازمة لإنتاج 80 كغم من الهايدروجين؟
ب- ما قيمة مدى تقدم التفاعل استناداً الى الهيادروجين؟
ج- اوجد عدد المولات لكل من (Mg) و (HNO_3) في المُنتِجات بناء على قيمة مدى تقدم التفاعل.

Ans. a- 972 kg, b- $\zeta = 40$, c- Mg = 5 kmol, HNO_3 = 40 kmols الجواب

3.32 In the production of ammonia 2000 kg/h of a mixture of nitrogen and hydrogen are fed to the reactor. If the of hydrogen constitute 25% of the feed mixture, determine the percentage conversion of hydrogen, and the percentage yield of ammonia to produce 1030 kg/h of the desired product.

3.32 تُنتج الأمونيا عن طريق تغذية 2000 كغم/ساعة من خليط النايتروجين والهايدروجين إلى المفاعل. إذا كانت نسبة الهايدروجين في الخليط المغذي تساوي 25%، حدد النسبة المؤية لتحويل الهايدروجين، والنسبة المؤية لانتاجية الامونيا للحصول على 1030 كغم/ساعة من المُنتَج المظلوب .

3.33 Propane (C_3H_8) is burned continuously to form carbon dioxide (CO_2) and water (H_2O). The conversion of propane is 75%, and the feed contains 48 kmol propane and 210 kmol oxygen.

a- Write a balanced equation for the chemical reaction

b- Determine the composition of the product by weight.

3.33 يُحرق البروبان (C_3H_8) بشكل مستمر لتكوين ثاني أوكسيد الكاربون (CO_2) والماء (H_2O). اذا كانت نسبة تحويل البروبان 75%، ويحتوي خليط التغذية على 48 كيلومول من الميثان و210 كيلومول من الأوكسجين.

أ- اكتب معادلة التفاعل الكيميائي المتوازنة

ب- حدد نسب مكونات المُنتَج كنسب وزنية.

3.34 Phosphoric acid (HPO_3) is produced by dissolving phosphorus penta-oxide (P_2O_5) in water. Calculate a- the % yield for producing 2000kg of the acid from 4000 kg of the oxide fed to the reactor and b- the % conversion of the oxide.

3.34 يُنتج حامض الفوسفوريك (HPO_3) عن طريق إذابة خماسي أوكسيد الفوسفور (P_2O_5) في الماء. احسب أ- النسبة المئوية للإنتاجية للحصول على 2000 كغم من الحامض باستخدام 4000 كغم من الأوكسيد الداخل للمفاعل و ب- النسبة المئوية لتحويل الأوكسيد.

Ans. 88.75%, 44.37% الجواب

3.35 The feed to a chlorination reactor consists of 40% chlorine, 52% methane and 8% inert gas. If the conversion of the limiting recant is 70%, evauate the composition of the product. Consider 100 kmol basis.

3.35 يتكون خليط التغذية الى مفاعل الكلورة من 40% كلور، و52% ميثان، و 8% من الغاز الخامل. فإذا كان مقدار نسبة التحويل للمتفاعل المحدد تساوي 70%، قم بتقييم نسب مكونات المُنتَجات. اتخذ الاساس للحسابات مساوياً 100 كيلومول.

$$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$$

Ans. 28% CH_3Cl, 28% HCl, 8% inert, 24% CH_4, 12% Cl_2 الجواب

3.36 Use Excel to solve the previous problem by evaluating the extent of reaction for CH_3Cl and then estimating the product composition.

3.36 استخدم برنامج الاكسيل لحل المسألة السابقة عن طريق تقييم مدى تقدم التفاعل لـ CH_3Cl ومن ثم تقدير نسب مكونات النواتج.

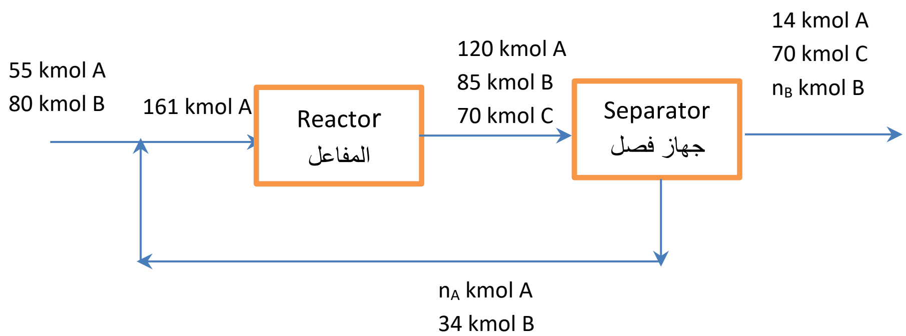
3.37 A reaction of A with B to form C follows the balanced equation

3.37 يتبع التفاعل بين (A) و (B) لانتاج (C) المعادلة المتوازنة:

$$A + B \rightarrow C$$

The flow chart below illustrates he process:

يوضح مخطط البيانات الانسيابي ادناه العملية الصناعية:



Find

a- The overall and single pass conversions of A
b- The remaining amount of B in the final product
c- The recycle ratio

اوجد

أ- التحويل الشامل للعملية والتحويل احادي المسار للعنصر (A)
ب- كمية العنصر (B) المتبقية في المنتجات.
ج- نسبة اعادة التدوير

3.38 Ethyl chloride (C_2H_5Cl) is formed by the reaction of ethylene (C_2H_6) and chlorine (Cl_2); hydrogen (H_2) is a by-product of the reaction. The feed consists of 40 mole% ethylene and 60 mole% of chlorine. Most of the remaining ethylene is separated and recycled with some hydrogen. If the overall conversion is 98%, evaluate the composition of the product and calculate the single pass conversion. Assume the remaining ethylene in the product is equal to 0.4% of the ethylene leaving the reactor.

3.38 يتولد كلوريد الإاثيل (C_2H_5Cl) من تفاعل الإثيلين (C_2H_6) والكلور (Cl_2)، ويتكون الهيادروجين (H_2) كمُنتَج ثانوي للتفاعل. يتكون خليط التغذية من 40% إثيلين و60% من الكلور كنسب مولية. يتم فصل معظم الإثيلين المتبقي في جهاز فصل ثم يعاد تدويره مع بعض الهيادروجين. فإذا كان التحويل الشامل للعملية 98%، اوجد نسب مكونات المُنتجات واحسب مقدار التحويل احادي المسار عبر المفاعل. افترض ان كمية الاثلين المتبقية في المنتجات تساوي 0.4% من كميته الخارجة من المفاعل.

$$2C_2H_6 + Cl_2 \rightarrow 2C_2H_5Cl + H_2$$

Ans. 0.8% C_2H_6, 19.6% Cl_2, 39.2% C_2H_5Cl, 40.4% H_2, Conversion = 16.38% الجواب

Combustion prolems

مسائل تخص الاحتراق

3.39 Calculate the theoretical oxygen and excess air required for combustion of 120 kmol/h of ethane with 1450 kmol/h of air.

3.39 احسب كمية الأوكسجين النظري وكمية الهواء الفائض اللازم لاحتراق 120 كمول/ساعة من غاز الايثان مع 1450 كمول/ساعة من الهواء.

3.40 Coal consists of 92% carbon and 8% non - combustible impurities. Determine

3.40 يتكون احد نواع الفحم من 92 % كاربون و8% شوائب غير قابلة للاحتراق. اوجد:

a- The amount of theoretical oxygen to completely burn 130 kg of coal.

أ- كمية الأوكسجين النظري اللازمة لحرق 130 كغم من الفحم احراقاً كاملاً.

b- The composition of flue gas leaving the furnace for the supply of 60% excess air to the furnace.

ب- نِسب مكونات الغازات التي تنطلق الى الجو (غاز المداخن) عند تزويد فرن الاحتراق فائض من الهواء بنسبة 60%.

3.41 A certain fuel is burnt completely in 40% excess air. The fuel consists of the following elements:

3.41 يُحرق احد انواع الوقود احتراقاً كاملاً في الهواء الفائض بنسبة 40%. فاذا كان الوقود يتأكون من العناصر التالية:

C = 86%, H = 10%, S = 3.4%, O = 0.45%, Ash = 0.15%

Determine the composition of the flue gas rising from the combustion furnace. Given

اوجد نسب مكونات غاز المداخن المتصاعد من فرن الاحتراق.علماً ان

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$

$$H_2 + ½\, O_2 \rightarrow H_2O$$

Ans: الجواب:

Composition in mole% N_2 = 76.07%, O_2 = 5.75%, CO_2 = 10.61%, SO_2 = 0.15%, H_2O = 7.4%

3.42 A combustion reactor is fed with 90 kmol of LPG and 5000 kmol of air. Balance the chemical reaction equations and determine the composition of the dry flue gas. Assume complete combustion.

3.42 يدخل 90 كيلومول من الغاز المسال (LPG) و 5000 كيلومول من الهواء الى مفاعل الاحتراق. قم بموازنة معادلات التفاعل الكيميائية المدرجة ي ادناه ثم حدد نسب مكونات غاز المداخن الجاف. افترض احتراق كامل للغاز المسال.

LPG = 60% propane + 40% butane

$$C_4H_{10} + O_2 = CO_2 + H_2O$$

$$C_3H_8 + O_2 = CO_2 + H_2O$$

Ans:

الجواب: Composition mole%: O_2 = 10.88%, N_2= 82.70 %, CO_2 = 6.40%

3.43 A gas mixture consists of the following elements in mole %:

3.43 يتكون خليط غاز من العناصرالتالية كنسب مولية:

$$H_2 = 42\%, CH_4 = 40\%, C_2H_6 = 18\%$$

The gas mixture is burnt completely with air in a combustion chamber at the rate of 110 kmol/h. If the flue gas contains 85% nitrogen, determine the percentage excess air as well as the water vapour to fuel ratio.

يحرق خليط الغاز بالكامل مع الهواء في وعاء للاحتراق بمعدل 110 كيلومول/ساعة. فاذا كان غاز المداخن الجاف يحتوي على 85% من النايتروجين، حدد النسبة المؤية للهواء االفائض وكذلك نسبة بخار الماء المتولد الى الوقود.

3.44 Use Excel to solve problems 3.42 and 3.43.

3.44 استخدم برنامج الاكسيل لحل المسألتين 3.42 و 3.43 .

Chapter 4

الفصل الرابع

Energy Balance

موازنة الطاقة

In this chapter, we discuss basic energy balances without chemical reactions. We first explain the different types of energy including thermal energy and mechanical energy and introduce the concept of enthalpy. We then explain how to express energy balance equations based on the principles of conservation of energy and the first law of thermodynamics. We develop energy balance equations for closed and open systems, and then formulate balance equations for some basic industrial equipment with illustrative examples. We conclude the chapter by performing mechanical energy balance for piping systems, pumping systems, and hydraulic systems.

نتناول في هذا الفصل موازنة الطاقة الاساسية بدون التفاعلات الكيميائية. نشرح أولاً الأنواع المختلفة للطاقة بما في ذلك الطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية ونتعرف على مفهوم الانثالبي. بعد ذلك، نوضح كيفية صياغة معادلات موازنة الطاقة استناداً الى مبادئ حفظ الطاقة والقانون الأول لديناميك الحرارة. نضع معادلات موازنة الطاقة للمنظومات المغلقة والمنظومات المفتوحة، ثم نقوم بصياغة معادلات موازنة الطاقة لبعض المعدات الصناعية الأساسية مع ألامثلة التوضيحية. ونختتم الفصل باجراء موازنة الطاقة الميكانيكية لمنظومات الأنابيب ومنظومات الضخ والمنظومات الهايدروليكية.

4.0 Learning Objectives of Chapter 4

- Explain the different forms of energy
- Define heat, work and enthalpy
- Introduce conservation of energy and the first law of thermodynamics
- Conduct energy balance for closed systems
- Perform energy balance for open systems
- Formulate energy balance equations for some process equipment
- Conduct mechanical energy balance

4.0 اهداف دراسة الفصل الرابع

- شرح اشكال الطاقة المختلفة
- تعريف الحرارة والشغل والانثالبي
- التعرف على مبدأ حفظ الطاقة والقانون الاول لديناميك الحرارة
- اجراء موازنة الطاقة للمنظومات المغلقة
- انجاز موازنة الطاقة للمنظومات المفتوحة
- صياغة معادلات موازنة الطاقة لبعض معدات التصنيع
- اجراء موازنة الطاقة الميكانيكية

4.1 Forms of energy

It is well known that energy in joules (J) exists in different forms and types. Specific values can be used to simplify the calculations of energy balance. **Specific energy** is defined as *the energy per unit mass in (J/kg).* We are well familiar with electrical, magnetic energy, solar energy etc.., however, however thermal energy and mechanical energy are among the most important forms of energy in industry. We will discuss briefly some forms of energy relevant to energy balances.

4.1 اشكال الطاقة

المعلوم ان الطاقة تتواجد بأشكال وانواع مختلفة وتُقاس بوحدات الجول (J), كما يمكن ايضاً استخدام قيمها النوعية لتبسيط حسابات موازنة الطاقة. و**الطاقة النوعية** هي *الطاقة لكل وحدة كتلة بالوحدات (J/kg).* نحن على دراية جيدة بالطاقة الكهربائية والمغناطيسية والطاقة الشمسية وغيرها، ومع ذلك فإن الطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية هما من أهم أشكال الطاقة في المجال الصناعي. وفيما يلي، سنتعرف على بعض أشكال الطاقة ذات الصلة بموازنات الطاقة.

4.1.1 Internal Energy

It is the energy arising as a result of the physical state associated with the structure and motion of the fluid molecules. **Internal energy** is a thermodynamic property denoted U and has the units of joule (J), which is in fact the sum of all microscopic forms of energy. The specific value is denoted ŭ in J/kg.

4.1.1 الطاقة الداخلية

هي الطاقة الناجمة عن الحالة الفيزيائية للمائع المرتبطة ببنية جزيئاته وحركتها. تُعد **الطاقة الداخلية** خاصية ثرموديناميكية رمزها (U) ووحداتها الجول (J), وهي في الواقع تساوي مجموع كل اشكال الطاقة المجهرية. يرمز للطاقة الداخلية النوعية (ŭ) بوحدات الجول/كيلوغرام (J/kg).

4.1.2 Kinetic Energy

Kinetic energy denoted KE is associated with the flow of the fluid. It is a function of the average velocity u in the system and has the units of joule (J). The kinetic energy is estimated according to the following formula

4.1.2 الطاقة الحركية

ترتبط **الطاقة الحركية** بجريان الموائع، فهي دالة لمتوسط سرعة المائع في المنظومة (u). يرمز لها (KE) ووحداتها الجول (J). تقدر قيمتها وفقاً للمعادلة

$$KE = \frac{1}{2} m u^2 \qquad (4.1)$$

m = mass in kg
u = average velocity in m/s

m = الكتلة بوحدات الكيلوغرام (kg)
u = متوسط السرعة بوحدات (m/s)

4.1.3 Potential Energy

Potential energy *is due to the position of the object z within the gravity field of earth*; denoted PE, it has the units of J. It is given by

4.1.3 الطاقة الكامنة

الطاقة الكامنة *هي الطاقة التي تعتمد على تموضع الجسم (z) في مجال الجاذبية الارضية*، يرمز لها PE ووحداتها الجول (J). تُقدر قيمتها بموجب المعادلة التالية

$$PE = m.g.z \qquad (4.2)$$

g = Gravitational constant
z = height above a reference plane

g = ثابت الجاذبية
z = الارتفاع فوق مستوى مرجعي

4.1.4 Heat &Thermal Energy

Thermal energy includes the sensible and latent forms of internal energy associated with temperature. **Thermodynamics** deals with the transfer of thermal energy between two systems or a system and its surroundings. The flow of thermal energy from one substance to anotherdue temperature difference is known as **heat transfer**. The term **Heat** is is usually used to describ the process of energy transfer as a result of different values of temperature. The units of heat are Joule (J) or kJ, which is the same as any other types of energy. Quantity of heat transferred is denoted Q. The heat transfer per unit mass between two specified states is denoted q in kJ/kg and the rate of heat transfer is $\dot{Q}$ in kJ/s. To identify the direction of heat transfer between system and surroundings, a **sign convention** for transfer is used, it states that*: heat gain by the system is positive and heat lost from the system is negative.*

4.1.4 ألحرارة والطاقة الحرارية

تشمل **الطاقة الحرارية** شكلي الطاقة الداخلية المحسوسة والكامنة المرتبطة بدرجة الحرارة. يتخصص علم **ديناميك الحرارة** بتنقل الطاقة الحرارية بين منظومتين أو بين منظومة ثرموديناميكية ومحيطها، بينما يُسمى سريان الطاقة الحرارية من مادة الى اخرى بسبب اختلاف درجة الحرارة **انتقال الحرارة**. ويستخدم عادة مصطلح **الحرارة** لوصف عملية انتقال الطاقة بسبب الاختلاف في قيم درجة الحرارة. وتتخذ الحرارة وحدات الجول (J) او (kJ) وهي نفس وحدات أنواع الطاقة الاخرى. يرمز إلى كمية الحرارة المنتقلة (Q) بينما يتخذ انتقال الحرارة لوحدة الكتلة بين حالتين معينتين الرمز (q) بوحدات كيلوجول/كيلوغرام (kJ/kg)، ويرمز الى معدل انتقال الحرارة ($\dot{Q}$) بالوحدات (kJ/s). ولتحديد اتجاه انتقال الحرارة ما بين المنظومة والمناطق المحيطة بها تُستخدم **قاعدة الاشارة الاتجاهية** التي تنص على أن: *الحرارة الداخلة إلى المنظومة موجبة والحرارة المفقودة منها سالبة.*

4.1.5 Work

Work W (J) is defined as *the force F in (N) acting through a distance dx in (m)*, thus

4.1.5 الشغل

يُعرّف **الشغل** (W) بوحدات الجول (J) على انه *القوة (F) بوحدات النيوتن (N) المؤثرة على امتداد المسافة (dx) بوحدات المتر (m)*، اذن

$$dW = F \cdot dx$$

$$W = \int_1^2 F \cdot dx \qquad (4.3)$$

It is clear that work is related to motion, and therefore mechanical energy must cross the boundary of the system to produce effective work. This is actually what is known as energy transfer by work. In thermodynamics, work transfer occurs between the system and its surroundings. As work is a directional quantity, a sign convention should be adopted. Accordingly, the work done by the system is considered positive (+W) and works done on the system is negative (-W). This sign convention focuses on the effect of the system on surroundings.

The sign convention in chemical sciences is the opposite of that in physical sciences.

من الواضح أن الشغل مرتبط بالحركة, وبالتالي فإن إنتاج الشغل الفعال يتطلب عبور الطاقة الميكانيكية لتخم المنظومة. وهذا هو في الواقع ما يُعرف بإنتقال الطاقة بواسطة الشغل. وفي مجال علم ديناميك الحرارة يحدث انتقال الشغل بين المنظومة ومحيطها. وبما ان الشغل كمية اتجاهية لذا ينبغي اعتماد قاعدة الإشارة الاتجاهية له، وفي هذا السياق يُعد *الشغل الذي تنجزه المنظومة موجباً (+W), والشغل المبذول على المنظومة سالباً (-W)*. يركز مبدأ الاشارة الاتجاهية اعلاه على تأثير المنظومة على ما يحيط بها وليس العكس.

تستخدم الاشارة الاتجاهية في العلوم الكيميائية على عكس ما هو عليه في العلوم الفيزيائية، اي الشغل المنجز (-W) والشغل المبذول على المنظومة (+W).

The work done by fluid flow is called **flow work** and is a characteristic of open thermodynamic systems. The energy is transferred across the boundary of the system by the pressurised flowing fluid. Liquid is usually pressurised by a **pump** and gas by a fan or a **compressor**. Flow work W_{flow} or rate of flow work in kJ/s is evaluated as follows:

يسمى الشغل الناجم عن جريان المائع **شغل الجريان**، وهو سمة من سمات الأنظمة الثرموديناميكية المفتوحة. تنتقل الطاقة عبر تخم المنظومة بواسطة المائع الجاري المضغوط، حيث يضغط السائل عادة بواسطة **مضخة**، بينما يرفع ضغط الغاز بواسطة مروحة أو جهاز لزيادة الضغط يًسمى **الضاغط**. ويُقدر شغل الجريان (W_{flow}) بالوحدات (kJ/s) على النحو التالي:

$$W = \int_1^2 F.dx = \int_1^2 (P.dA).(dx)$$

$$W = \int_1^2 P\,dV = P.\Delta V \qquad (4.4)$$

P = pressure in Pa, dA area in m^2, x = distance in m

P = الضغط (Pa) و dA = المساحة (m^2)
x = المسافة (m)

The rate of flow work $\dot{W}_{flow}$ in kJ/s or kW is defined as

ويمكن تعريف معدل انجاز شغل الجريان ($\dot{W}_{flow}$) كما يلي

$$\dot{W}_{flow} = P.\Delta\dot{V} \qquad (4.5)$$

Equations 4.4 and 4.5 apply at constant pressure.
$\dot{W}_{flow}$= flow work in watts, J/s = W
ΔV = volume of displaced fluid in m^3
$\Delta\dot{V}$= Change in volumetric flow rate of fluid (m^3/s).

تنطبق المعادلتين (4.4) و (4.5) على حالات ثبوت الضغط.
$\dot{W}_{flow}$ = شغل الجريان بوحدات الواط (W = J/s)
Δ V حجم المائع المزاح
$\Delta\dot{V}$ = مقدار التغير بمعدل الجريان الحجمي (m^3/s)

The rate of work done on a fluid by a rotating shaft is referred to as **shaft work** $\dot{W}_{shaft}$ in kJ/s. For example, the work due to rotational movement of fluid by mixing blades or impellers driven by shaft.

يشار إلى معدل انجاز الشغل على المائع بواسطة عمود دوار **شغل عمود الدوران**، رمزه ($\dot{W}_{shaft}$) ووحداته (kJ/s)، على سبيل المثال، الشغل الناجم عن حركة المائع الدورانية بواسطة آلة خلط او ارياش مروحية متصلة بعمود الدوران.

Example 4.1

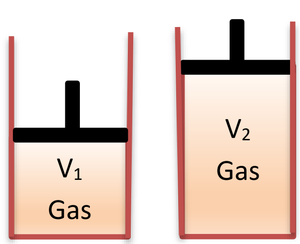
المثال 4.1

A quantity of air is heated at constant pressure in a **piston-cylinder arrangement**. If the initial volume is 1.5 m^3 and the pressure is 250 kPa, evaluate the work done due to the expansion of the gas to 2.75 m^3.

تُسَخن كمية من الهواء تحت تأثير ضغط ثابت في **ترتيب مكبس واسطوانة**. فإذا كان الحجم الابتدائي (1.5 m^3) عند ضغط (250 kPa), حدد مقدارالشغل المنجز بسبب تمدد الغاز إلى الحجم (2.75 m^3).

Solution

الحل



P = 250 kPa

State 1 State 2

Piston-Cylinder arrangement ترتيب المكبس والاسطوانة

$$W_{flow} = \int_1^2 P\,dV = P \cdot \Delta V \qquad \text{(Eqn 4.4)}$$

$$W_{flow} = P\,(V_2 - V_1)$$

$$V_1 = 1.5\ m^3 \quad , \quad V_2 = 2.75\ m^3 \quad , \quad P = 250\ kPa$$

$$W_{flow} = 250\,(2.75 - 1.5) = \underline{312.5\ kJ} \qquad (+312.5\ kJ\ )$$

The +ve sign indicates that the work is done by the system on the surroundings. In this case, the system is the expanding gas inside the cylinder. The +ve sign is not usually written before the answer.

تشير اشارة الموجب الى ان المنظومة تنجزشغلاً على المحيط، وفي هذه الحالة، المنظومة هي الغاز الذي يتمدد داخل الاسطوانة. ولا تكتب اشارة الموجب عادة. قبل الاجابة.

Comments **الملاحظات**

1. The answer will be negative if we apply the **chemistry-sign convention**. In this case equation 4.4 should be written as follows

1. إذا طبقنا **قاعدة اتجاه الإشارة في الكيمياء**، فإن الإجابة ستكون سالبة، وفي هذه الحالة يجب كتابة المعادلة (4.4) على النحو التالي

$$W_{flow} = -\int_1^2 P\,dV = -P.\Delta V \qquad (4.6)$$

The answer would be - $\underline{312.5\ kJ}$

والجواب سيكون (- $\underline{312.5\ kJ}$)

2. This is an example of a **closed system**, thus there is no material crossing the boundary, however, the system allows energy transfer. In contrast, the **open system** allows matter and energy exchange across boundaries.
3. The energy balance calculations will not be affected by the sign convention, because the balance equations are formulated to be compatible with the sign.

2. يمثل هذا المثال **منظومة مغلقة**، لذا لا يمكن للمادة ان تمر من أتخمها، ولكنها تسمح بمرور الطاقة. وفي المقابل، تسمح **المنظومة المفتوحة** بتبادل المادة والطاقة خلال أتخمها.
3. لا تتأثر حسابات موازنة الطاقة بالإشارة الاتجاهية، لأن معادلات الموازنة تصاغ بطريقة تجعلها متوافقة مع الاشارة.

4.1.6 Enthalpy

4.1.6 الانثالبي

Enthalpy, denoted $\breve{H}$ and has the units of joule (J), is a property of the system defined as

تُعد **الانثالبي** احد خواص االمنظومة ، رمزها ($\breve{H}$) ووحاتتها الجول (J)، وتُعرف كما يلي

$$\breve{H} = U + PV \qquad (4.7)$$

In thermodynamics, enthalpy is a **function of state** used for evaluating the total energy of the system at constant pressure including work. It is also used in chemical and biological systems to indicate the **heat content** of the system.

وفي مجال علم ديناميك الحرارة، تُعد الانثالبي **احد الدوال لتحديد حالة النظومة**، وهي تستخدم لتقدير الطاقة الكلية عند ضغط ثابت بما ففي ذلك الشغل. كما أنها تستخدم في المنظومات الكيميائية والبايولوجية للاشارة الى **المحتوى الحراري** للمنظومة.

4.1.7 Specific Energy Values

4.1.7 قيم الطاقة النوعية

The specific value is *the value per unit mass of any form energy or any system property*. Thus

القيمة النوعية هي *القيمة لوحدة الكتلة لاي شكل من أشكال الطاقة* أو اي خاصية للمنظومة. اذن

Specific heat	$q = Q/m$ (j/kg)	الحرارة النوعية
Specific work	$w = W/m$ (j/kg)	الشغل النوعي
Specific internal energy	$\breve{u} = U/m$ (j/kg)	الطاقة الداخلية النوعية
Specific enthalpy	$\check{h} = H/m$ (j/kg)	الانثالبي النوعية
Specific volume	$v = V/m$ (m^3/kg).	الحجم النوعي

4.2 Conservation of Energy

The law of conservation of energy states *that the energy can never be created or destroyed or. T*his is in line with the **first of thermodynamics** which is based on the fact that energy cannot be destroyed but can be changed from one form to another. The first law states: *the **change in total energy** ΔE for any thermodynamic process is equal to the heat added Q_{in} to the system minus the work done by the system on the surroundings W_{out}.*

4.2 مبدأ حفظ الطاقة

ينص قانون حفظ الطاقة على أن *الطاقة لا تُخلق من العدم ولا يمكن تدميرها*. وهذا يتماشى مع **القانون الأول لديناميك الحرارة** الذي يستند الى حقيقة أن الطاقة لا يمكن تدميرها ولكن يمكن تغيرها من شكل إلى آخر. وينص القانون الاول على ان *مقدار **التغير في الطاقة الكلية** (ΔE) لاي عملية ثرموديناميكية يساوي مقدار الحرارة المضافة (Q_{in}) مطروحاً منها الشغل الذي تنجزه المنظومة على محيطها (W_{out}).*

$\Delta E = Q_{in} - W_{out.}$ work done by the system الشغل منجز بواسطة المنظومة (4.8)

$\Delta E = Q_{in} + W_{in.}$ work done on the system الشغل مبذول على المنظومة (4.8-a)

The total energy includes internal energy plus kinetic energy plus potential nergy.
تشمل الطاقة الكلية **الطاقة الداخلية** بالاضاقة الى الطاقة الحركية والطاقة الكامنة

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE = \Delta U + ½\, m.v^2 + m.g.z \quad (4.9)$$

$$\Delta U + ½\, mv^2 + mgz = Q_{in} - W_{out.} \quad (4.9\text{-a})$$

In the case of applying equation 4.9 to a closed system, the potential and kinetic energy are neglected and the equation is reduced to:

في حالة تطبيق المعادلة (4.9) على المنظومة المغلقة تُهمل كل من الطاقة الكامنة والطاقة الحركية فتّختصر المعادلة إلى:

$$\Delta U = Q_{in} - W_{out.} \qquad (4.10)$$

Note: if work is done on the system by the surroundings, the work sign must be reversed to +ve in equation 4.10.

ملاحظة اذا انجز الشغل على المنظومة من محيطها، فيجب عكس اشارة الشغل الى الموجب في المعادلة (4.10).

4.3 Energy Balance for Closed Systems

4.3 موازنة الطاقة للمنظومات المغلقة

Equation 4.10 of the first law of thermodynamics is a convenient format for setting up an energy balance for closed systems. **Batch industrial processes** are considered time dependent closed systems, therefore the first law can be applied to batch processing.

The general formula for energy balance can be written as follows:

تُعد المعادلة (4.10) للقانون الأول لديناميك الحرارة صيغة ملائمة لاجراء موازنة الطاقة للمنظومات المغلقة. تعد **العمليات الصناعية بالوجبات المتعاقبة** بمثابة منظومات مغلقة تعتمد على مرور الزمن، لذا يمكن تطبيق القانون الأول عليها.

تُكتب الصيغة العامة لموازنة الطاقة على النحو التالي:

Energy output – Energy input = Accumulation (4.11)

كمية الطاقة الخارجة – كمية الطاقة الداخلة = كمية الطاقة المتراكمة

Let us now write equation 4.10 in the same format as equation 4.11. Let the initial system energy $E_{initial}$ and the system final energy E_{final}. In a According to the first law equation, the amount of accumulated energy (E_{final} - $E_{initial}$) must be equal to the energy transferred (Q – W), therefore

دعونا الان نكتب المعادلة (4.10) بصيغة مماثلة للمعادلة (4.11). نرمز الى مقدار الطاقة الابتدائية للمنظومة ($E_{initial}$) ومقدار الطاقة النهائية للمنظومة (E_{finial}). ووفقاً لصيغة القانون الاول لابد ان تكون كمية الطاقة المتراكمة (E_{final} - $E_{initial}$) تساوي كمية الطاقة المنتقلة (Q – W)، اذن

$$E_{final} - E_{initial} = Q - W \qquad (4.12)$$

Thus, equations 4.11 and 4.12 can be considered as a basis for developing energy balance equations of closed systems.

وهكذا يمكن اعتبار المعادلتين (4.11) و (4.12) بمثابة اساس لتطوير معادلات موازنة الطاقة للمنظومات المغلقة.

4.3.1 Ideal Gas Systems

4.3.1 منظومات الغازات المثالية

It is well known that the system contains a **working fluid**, and the fluid may be a liquid or a gas at rest or in a flow state. We can apply the **ideal gas** laws to solve problems involving change of state for a gas at rest or in motion. The general law for ideal gases is:

المعلوم ان كل منظومة تحتوي على **مائع للتشغيل**، وقد يكون المائع سائلاً او غازاً في حالة سكون او حالة جريان. ويمكننا الاستعانة بقوانين **الغازات المثالية** لحل المسائل المتعلقة بتغير حالة الغاز الساكن او الغاز الجاري.

القانون العام للغازات المثالية هو:

$$PV = m.RT \qquad (4.13)$$

P = Pressure in Pa — الضغط بوحدات الباسكال

V = volume in m^3 — الحجم بوحدات المتر المكعب

m = mass in kg — الكتلة بوحددات الكيلوغرام

R = Gas constant in kJ/kgK — ثابت الغاز بوحدات (kJ/kgK)

T = Absolute temperature in K ($T = T^oC + 273$) درجة الحرارة المطلقة بوحدات الكلفن

Equation 4.13 can be written in the following forms:

يمكن كتابة المعادلة (4.13) بالصيغ التالية:

$$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_2 \times V_2}{T_2} \qquad (4.13\text{-a})$$

At constant pressure: (Isobaric process) — العمليات بثبوت الضغط

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \qquad (4.12\text{-b})$$

At constant volume: (Isochoric process) — العمليات بثبوت الحجم

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad (4.13\text{-c})$$

At constant temperature (isothermal process): العمليات بثبوت درجة الحرارة

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \qquad (4.13\text{-d})$$

We will first solve an example is for a closed system containing astationary liquid as the working fluid, and solve an example for gas flow through a **compressor** later.

سنقوم اولاً بحل مثال لمنظومة مغلقة تحتوي على سائل ساكن كمائع للتشغيل، ثم نحل مثال لجريان الغاز من خلال جهاز رفع الضغط او **الضاغط** لاحقاً.

Example 4.2

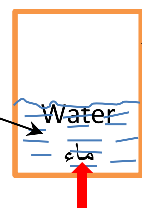
A tightly closed vessel contains 5 kg of water. Calculate the amount of heat required to vaporise some of the water. The initial specific internal energy is 400 kJ/kg, and the final specific internal energy for the mixture is 2500 kJ/kg.

المثال 4.2

وعاء مغلق باحكام يحتوي على 5 كغم من الماء. احسب كمية الحرارة اللازمة لتبخير بعض من الماء، علماً ان أن الطاقة الداخلية النوعية الاولية تساوي 400 كيلوجول/كغم، والطاقة الداخلية النوعية النهائية لحالة الخليط 2500 كيلوجول/كغم.

Solution

الحل



Basis: 12 kg of water

الاساس للحسابات: 12 كغم من الماء

We assume that there are no heat losses.

نفترض عدم وجود مفقودات حرارية.

State 1, water with $\breve{u}_{final}$ = 400 kJ/kg ,الحالة 1

State 2, water-vapour mixture with $\breve{u}_{final}$ = 2500 kJ/kg ,الحالة 2

To evaluate Q, we apply the energy balance for a closed system:

نطبق موازنة المادة للمنظومة المغلقة لتقييم (Q):

$$E_{final} - E_{initial} = Q - W \quad \text{(Eqn 4.12)}$$

$$\Delta E = E_{final} - E_{initial} = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

$$\Delta KE = 0.0$$

$$\Delta PE = 0.0$$

$W = 0.0$ (No work is done) (لا يوجد اي شغل منجز)

$$\Delta U = Q$$

$$U_{initial} - U_{final} = Q$$

$U_{initial} = \breve{u}_{initial} \times m$, $U_{final} = \breve{u}_{final} \times m$ (Mass is constant) (الكتلة ثابتة المقدار)

$$m\,(\breve{u}_{final} - \breve{u}_{final}) = Q$$

Thus: $5 \times (2500) - (400) = Q$ اذن:

$Q = \underline{10,500 \text{ kJ}}$

Comments

1. If the conditions of the initial and final states are known, the values of steam properties including the specific internal energy, may be found from steam tables
2. We have assumed that there is no heat loss to the surroundings during the heat transfer process to the system inside the closed vessel.

الملاحظات

1. إذا كانت ظروف الحالتين الأولية والنهائية معلومة فيمكن إيجاد قيم خواص بخار الماء بما فيها الطاقة الداخلية النوعية باستخدام جداول بخار الماء.
2. لقد افترضنا عدم وجود فقدان حراري إلى المناطق المحيطة اثناء عملية انتقال الحرارة الى االمنظومة داخل الوعاء المغلق.

4.4 Energy Balance for Open Systems

For an open system, the fluid which is in **steady state flow**, crosses the boundaries and transfers energy required to maintain flow. Accordingly, the **flow work** must be included in Eqn 4.9 which is the total energy balance quation. In this case, there is no time dependent-energy accumulation,

4.4 موازنة الطاقة للمنظومات المفتوحة

يجتاز المائع الجاري تخوم المنظومة المفتوحة عندما يكون في **حالة الجريان الستقر**، وينقل معه الطاقة للحفاظ على استمرارية تدفق المائع. وبناء على ذلك، يجب تضمين **شغل الجريان** في معادلة موازنة الطاقة رقم (4.9). وفي هذه الحالة لا يوجد تراكم للطاقة يعتمد على مرور الزمن،

$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE = \Delta U + ½\, m.v^2 + m.g.z$ (Eqn. 4.9)

For Open system the equation includes flow work: تشمل المعادلة للمنظومة المفتوحة شغل الجريان:

$\Delta E = \Delta U + \Delta\, KE + \Delta\, PE + \Delta\, (P.\dot{V})$, $\Delta\, (P.\dot{V})$ is the flow work term (حد شغل الجريان)

$\Delta E = Q_{in} - W_{sys.}$ (Eqn. 4.8)

Substituting ΔE in eqn. 4.9: وبموجب المعادلة (4.8):

$\Delta U + \Delta\, KE + \Delta\, PE + \Delta\, (P.\dot{V}) = (Q_{in} - W_{sys}) = (Q_{in} - W_{out})$ $\dot{V}$ is volumetric flow rate in m^3/s

According to eqn 4.9: وبتطبيق المعادلة (4.9):

$[\dot{U}_{out} + ½\, \dot{m}\, (u_{out})^2 + (\dot{m}\, g\, z_{out}) + (P.\dot{V})_{out}] - [\dot{U}_{in} + ½\dot{m}\, (u_{in})^2 + (\dot{m}\, g\, z_{in}) + (P.\dot{V})_{in}] = (\dot{Q}_{in} - W_{out})$

Sbstitute using eqn. 4.7 $H = U + PV$ نعوض باستخدام المعادلة (4.7)

$\dot{H}_{out} + ½\, \dot{m}\, u_{out}^2 + \dot{m}\, g\, z_{out} - \dot{H}_{in} + ½\, \dot{m}\, u_{in}^2 + \dot{m}\, g\, z_{in} = \dot{Q}_{in} - \dot{W}_{out}$ (4.14)

This is consistent with equation 4.12. وهذا يتوافق مع صيغة المعادلة (4.12).

Input = $\dot{H}_{in} + ½\, \dot{m}\, u_{in}^2 + \dot{m}\, g\, z_{in}$, Output = $\dot{H}_{out} + ½\, \dot{m}\, u_{out}^2 + \dot{m}\, g\, z_{out}$

The net rate of energy transfer = $(\dot{Q}_{in} - \dot{W}_{out})$ = صافي معدل انتقال الطاقة

For **steady state continuous processes** that occur in refineries and large scale industries, there is no time-dependent accumulation of energy. If changes of kinetic and potential energy are ignored, and no external work is done, equation 4.14 reduces to

وفيما يخص العمليات **المستمرة ذات الحالة المستقرة** التي تحدث في المصافي والمصانع على نطاق واسع، لا يوجد تراكم للطاقة يعتمد على الزمن. واذا اهملت التغيرات في الطاقة الحركية والطاقة الكامنة، ولم ينجز اي شغل خارجي، تختصر المعادلة (4.14) الى

$H_{out} - H_{in} = Q_{in}$, $\Delta H = Q_{in}$ (Without flow) (بدون جريان) (4.15)

$\dot{H}_{out} - \dot{H}_{in} = \dot{Q}_{in}$, $\Delta\dot{H} = \dot{Q}_{in}$, (With flow) (بوجود جريان) (4.16)

In terms of specific enthalpy:

وبدلالة الانثالبي النوعية نحصل على:

$$\Delta\dot{H} = \dot{m}\,(h_{out} - h_{in}) \quad (4.17)$$

h_{out} = specific enthalpy of the output fluid (الانثالبي النوعية للمائع الخارج من المنظومة)

h_{in} = specific enthalpy of the input fluid (الانثالبي النوعية للمائع الداخل)

Where $\dot{H}$ is the rate of change of enthalpy in kJ/s, Q is the heat transfer in kJ and $\dot{Q}$ is the rate of heat transfer in kJ/s.

يمثل الرمز ($\dot{H}$) معدل تغير الانثالبي بوحدات كيلوجول/ثانية (kJ/s), و(Q) كمية انتقال الحرارة بوحدات كيلوجول (kJ) و ($\dot{Q}$) معدل انتقال الحرارة بوحدات كيلوجول/ثانية (kJ/s).

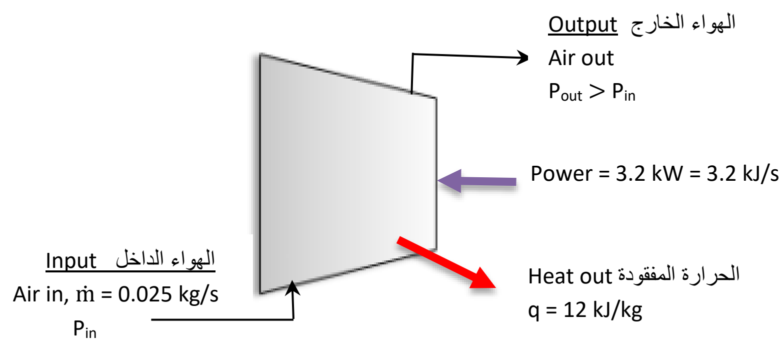
Example 4.3

المثال 4.3

A stream of atmospheric air is compressed by a **compressor** at the rate of 0.025 kg/s. If the cooling water absorbs 12 kJ/kg of heat, evaluate the change in specific enthalpy of the air. Take the **power supply** to be 3.2 kW. Assume that the changes in kinetic energy and potential energy are negligible.

يُضغط تيار من الهواء الجوي بواسطة جهاز **ضاغط** بمعدل 0.025 كغم/ثانية. فاذا كان ماء تبريد الجهاز يمتص 12 كيلوجول/كغم من الحرارة, احسب مقدار التغير في الانثالبي النوعية للهواء. اتخذ مقدار **القدرة المجهزة** للضاغط بحدود 3.2 كيلوواط، وافترض أن التغيرات في الطاقة الحركية والطاقة الكامنة ضئيلة بحيث يمكن اهمالها.

Solution



Air compressor ضاغط الهواء

$\dot{H}_{out} + ½\, \dot{m}\, u_{out}^2 + \dot{m}\, g\, z_{out} - \dot{H}_{in} + ½\, \dot{m}\, u_{in}^2 + \dot{m}\, g\, z_{in} = \dot{Q}_{in} - \dot{W}_{out}$ (Eqn 4.14)

KE = 0.00. PE = 0.00,

$\dot{H}_{out} - \dot{H}_{in} = \dot{Q}_{in} - \dot{W}_{out}$

$\Delta\dot{H} = \dot{Q}_{in} - \dot{W}_{out}$ (Heat gained, work done by the system) (4.18)

For compression of air, heat is removed from the system by cooling (Q_{out}) and work is done on the system which is air (W_{in}), thus the sign should be reversed.

يجب عكس الاشاراتين الخاصة بالحرارة والشغل لعملية رفع ضغط الهواء، لان الحرارة (Q_{out}) تُزال من المنظومة بواسطة التبريد (والشغل (W_{in}) هو شغل مبذول على المنظومة اي على الهواء, اذن

For compressors eqn. 4.18 becomes: $\Delta\dot{H} = -\dot{Q}_{out} - (-\dot{W}_{in})$ $\Delta\dot{H} = \dot{W}_{in} - \dot{Q}_{out}$ (4.19)

Note that equation 4.18 is consistent with the energy balance of equation 4.11.

لاحظ ان المعادلة (4.18) متوافقة مع موازنة الطاقة في للمعادلة (4.11).

Power $\dot{W}_{in}$= rate of work in kW = w (kJ/kg) x $\dot{m}$ (kg/s) = القدرة = معدل انجاز الشغل بوحدات الكيلواط

$\dot{m}\, \Delta h = (\dot{m}\, w - \dot{m}\, q_{in})$ (Specific form of Eqn 4.19) (الصيغة النوعية للمعادلة (4.19)

$\Delta h = (\dot{W}_{in} - \dot{m}\, q_{in})/\dot{m} = (3.2 - 0.025 \times 12)/ 0.025) =$ 116 kJ/kg

Comments

الملاحظات

For **turbines** that generate energy, the power is delivered by expansion of the fluid, and therefore work will be negative ($-W_{out}$). Heat lost is also negative ($- Q_{out}$) because it is removed by cooling, as the case with the **compression**, thus eqn 4.18 bcomes:

يمكن تطبيق المعادلة (4.18) على **التوربينات** التي تولد الطاقة، حيث يؤدي تمدد المائع في التوربين الى انتاج القدرة او الطاقة لوحدة الزمن. ويُعد الشغل الناتج عن تمدد المائع في التوربين سالباً ($-W_{out}$). كما تعتبر الحرارة المفقودة ($-Q_{out}$) سالبة ايضاً لأنها تُزال من المنظومة بواسطة التبريد كما يحصل في عملية **الانضغاط**،

$\dot{H}_{out} - \dot{H}_{in} = \dot{Q}_{in} - \dot{W}_{out}$ (Eqn.4.18)

For turbines: $\dot{H}_{out} - \dot{H}_{in} = -\dot{Q}_{in} - \dot{W}_{out}$ $\Delta\dot{H} = -(\dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out})$ للتوربينات (4.20)

The value of change of enthalpy in a turbine is negative according to equation 4.20, because the final enthalpy of the expanded fluid is less than the initial enthalpy.

يكون مقدار التغير في الإنثالبي للتوربينات سالبا وفقاً للمعادلة (4.20)، لأن قيمة الإنثالبي النهائية للمائع المتمدد اصغرمن قيمة الإنثالبي الاولية.

Exercise

تمرين

Steam is expanded to drive an insulated steam turbine (Q = 0.0). If the power produced is 3213.45 kW and the mass flow

يتمدد بخار الماء في توربين بخاري معزول حرارياً (Q = 0.0). فإذا كانت الطاقة المتولدة تساوي 3213.45 كيلوواط ومعدل

rate of the steam is 4.5 kg/s; determine the change in specific enthalpy of the steam.

The steam at the **saturation temperature** (boiling point of water) is called **dry saturated**, and at higher temperature than the saturation temperature it is termed **superheated**. This terminology is required for steam tables use.

جريان البخار 4.5 كيلوغرام/ثانية، اوجد مقدار التغير في الانثالبي النوعية لبخار الماء.

يطلق على بخار الماء عند **درجة حرارة التشبع** (اي درجة حرارة غليان الماء) اسم **البخار المشبع الجاف**، وعند درجة حرارة اعلى من درجة حرارة التشبع يطلق عليه اسم **البخار المحمص**. تعد هذه المصطلحات ضرورية لاستخدام جداول بخار الماء.

4.5 Evaluation of System Properties

4.5 تقييم خواص المنظومة

In the field of thermodynamics the **system** is defined as a *quantity of material or a space specified for the purpose of a particular thermodynamic study.* The region outside the system is known as the **surroundings**. The surface separating the system and its surrounding is the **boundary**, and it may be a real or an imaginary surface with a thickness equal to zero (Fig 4.1)

يمكن تعريف **المنظومة** في مجال ديناميك الحرارة على انها *كمية المادة أو الفضاء المحدد لغرض دراسة ثرموديناميكية معينة*. وتدعى المنطقة خارج المنظومة **المحيط**، بينما يسمى السطح الذي يفصل بين المنظومة والمناطق المحيطة بها **التخم**. و قد يكون التخم سطحاً حقيقياً او سطحاً وهمياً بسُمك يساوي الصفر، انظر الشكل (4.1)

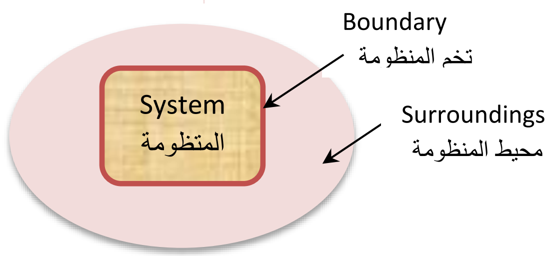


Figure 4.1 Thermodynamic system
الشكل 4.1 المنظومة الثرموديناميكية

Regarding energy balances for processing systems, we deal mainly ith open systems that allow fluids to run through the equipment. For example, piping, pumps, heat exchangers and all other equipment that constitute an industrial plant are open systems. The characteristic quantities to describe and define the state of a system are called **system properties**. Common properties of the system are mass, volume, velocity, pressure and temperature. Other thermodynamic proper-ties are internal energy, enthalpy and entropy.

The change in internal energy ΔU is part of the first law, which is the basis for performing energy balance of closed systems. Energy

وفيما يتعلق بموازنات الطاقة لمنظومات التصنيع، فاننا نتعامل بشكل أساسي مع المنظومات المفتوحة التي تسمح بمرور الموائع خلال معداتها الصناعية. فعلى سبيل المثال, تتشكل المنشأة الصناعية من منظومات مفتوحة تضم الأنابيب والمضخات والمبادلات الحرارية وجميع المعدات الأخرى. وتسمى الكميات المُمَيزة لوصف وتحديد حالة المنظومة **خواص المنظومة**. تعد الكتلة والحجم والسرعة والضغط ودرجة الحرارة من الخواص الشائعة للمنظومة، وهناك الخواص الثرموديناميكية الاخرى كالطاقة الداخلية والانثالبي والانتروبي.

ان مقدار التغير في الطاقة الداخلية (ΔU) هو جزء من القانون الأول لديناميك الحرارة الذي يشكل الاساس لانجاز موازنة الطاقة للمنظومات المغلقة. بينما تعتمد موازنات الطاقة

balance for open systems are based on the change in enthalpy ΔH. Thus, it is imperative to evaluate the enthalpy at the input and output points of open processing system. The values for gases and liquids can be found in property tables for elements and compounds or in published property charts. **Steam tables** include data for specific enthalpy, specific internal energy and specific volume for **saturated and superheated steam.** Properties of liquids, air and other substances are available in relevant sources, including the Internet.

للمنظومات المفتوحة على مقدار التغير في الانثالبي (ΔH). لذالك، لابد من تقييم الانثالبي لمواقع دخول المائع وخروجه من المنظومة الصناعية المفتوحة. يمكن استخراج قيم خواص الغازات والسوائل من الجداول التي تخص العناصر والمركبات الكيميائية او من مخططات الخواص المنشورة في الكتب والمصادر الخرى. تتضمن **جداول بخار الماء** قيم الانثالبي النوعية والطاقة الداخلية النوعية والحجم النوعي لكل من **بخار الماء المشبع** و **بخار الماء المحمص**. وتتوفر خواص السوائل والهواء والمواد الأخرى في المصادر ذات الصلة، بما في ذلك الإنترنت.

The change in internal energy and enthalpy may be calculated in terms of heat capacity (C) or **specific heat capacity** in J/kg.K; defined as *the amount of heat required to raise the temperature of 1 kg of the substance by 1 K.*

For ideal gases, specific heat at a constant volume C_v in J/kgK is defined as *the change of* ***internal energy*** *with temperature* at constant volume. The specific heat at constant pressure C_P is *the change of* ***enthalpy*** *with temperature at constant pressure*, thus

يمكن تقدير مقادير التغير في الطاقة الداخلية والانثالبي بدلالة السعة الحرارية (C) أو **السعة الحرارية النوعية** بوحدات (J/kg.K)، *والتي تعرف على انها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كغم من المادة بمقدار درجة كيلفن واحدة (1 K).*

وفيما يخص للغازات المثالية، تعرف الحرارة النوعية بثبوت الحجم (C_v) بوحدات (J/kgK) على أنها *مقدار التغير في* ***الطاقة الداخلية*** *نتيجة تغير درجة حرارة الغاز* عند حجم ثابت. كما ان الحرارة النوعية بثبوت الضغط (C_P) هي *مقدار التغير في* ***الانثالبي*** *نتيجة تغير درجة الحرارة عن ضغط ثابت*، وعليه

For a constant volume: عند ثبوت الحجم:

$$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$$

$$(\Delta \breve{u})_v = \int_1^2 C_v dT$$

$$(\Delta \breve{u})_v = C_v\ (T_2 - T_1)$$

$$(\Delta U)_v = m\ C_v\ (T_2 - T_1) \qquad (4.21)$$

For constant C_v: عند ثبوت الضغط:

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P$$

$$(\Delta h)_p = \int_1^2 C_p dT$$

For constant C_p: عند ثبوت السعة الحرارية C_p:

$$(\Delta h)_p = C_P\ (T_2 - T_1)$$

$$(\Delta H)_p = m\ C_P\ (T_2 - T_1) \qquad (4.22)$$

Note: the internal energy change at constant volume is equal to the amount of heat for the ideal gas at constant volume. The **enthalpy change** at constant pressure is the amount of heat content for the ideal gas at constant pressure, so

ملاحظة: مقدار التغير في الطاقة الداخلية بثبوت الحجم للغاز المثالي يساوي كمية الحرارة للغاز **بثبوت** الحجم. ومقدار **التغير في الانثالبي** بثبوت الضغط يساوي كمية الحرارة للغاز بثبوت الضغط، اي ان

$(\Delta U)_v = Q_v$, $(\Delta H)_p = Q_P$ (for ideal gases (للغازات المثالية) (4.23)

Example 4.4

المثال 4.4

2.5 kg of nitrogen is kept in a rigid closed vessel at a pressure of 400 kPa and 300°C. Estimate the heat lost from the vessel when the gas is cooled until the pressure falls to 200 kPa. Apply Gay-Lussac law (Eqn 4.13-c) to estimate the final temperature.

تُحفظ 2.5 كغم من النايتروجين في وعاء صلب مغلق تحت تأثير ضغط مقداره (400 kPa) ودرجة حرارة (300°C)، احسب كمية الحرارة المفقودة من الوعاء عند تبريد الغاز حتى ينخفض الضغط فيه إلى (200 kPa). يمكنك تطبيق قانون غاي لوساك (Eqn 4.13-c) لتقدير درجة الحرارة النهائية.

$C_v = 742.32$ J/kg.K

Solution

الحل

At constant volume $\Delta q = (\Delta U)_v/m = \Delta \breve{u} = C_v\,(T_2 - T_1)$ (from Eqn. 4.21)

Gay Lussac law: $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ قانون غاي لوساك: (Eqn. 4.13c)

$P_1 = 400$ kPa, $P_2 = 200$ kPa, $T_1 = 300 + 273 = 573$ K

$$\frac{400}{573} = \frac{200}{T_2} \quad , \quad T_2 = 286.5 \text{ K}$$

$\Delta q = \Delta \breve{u} = C_v\,(T_2 - T_1) = 742.32\,(286.5 - 573) = -\,212{,}674.68$ J/kg

Heat lost from the vessel is $\Delta Q = m x\, \Delta q$ الحرارة المفقودة من الوعاء هي

$\Delta Q = m x\, \Delta q = 2.5\,(212{,}674.68/1000) =$ <u>- 531.686 kJ/kg</u>

Comments

الملاحظات

The negative sign indicates that heat is lost from the system to the surroundings.

تشير علامة الناقص الى فقدان الحرارة من المنظومة الى محيطها.

Exercise

تمرين

If 1.5 kg of nitrogen at 200°C is expanded at constant pressure of 300 kPa inside a piston-cylinder system, what will be the heat lost when the volume of the gas is doubled. Use the ideal

إذا تمدد 1.5 كغم من النايتروجين عند درجة الحرارة 200 درجة مؤية تحت ضغط ثابت مقداره 300 كيلوباسكال في منظومة أسطوانة ومكبس، فما مقدار الحرارة المفقودة عندما يتضاعف حجم الغاز؟ استخدم قانون الغازات المثالية لتقدير درجة الحرارة النهائية.

$C_P = 1.04$ kJ/kg.K

4.6 Energy Balance for Equipment

We dealt with unit operations in chapters 1 and 2, and material balances were performed for most of the processing equipment. That was regardless of whether the unit involves heat transfer, mass transfer or simultaneous mass and heat transfer operations. In fact, **process design** for equipment such as dryers, evaporators, heat exchangers and boilers involves both mass and energy balances. The energy balance for such equipment is based on mainly on the estimation of the heat input and heat output, because no mechanical energy or work is involved. Additionally, in most industrial equipment kinetic and potential energies are neglected. However, the energy balance for **rotary equipment** such as compressors, involves both heat and mechanical energy transfer, as illustrated in example 4.3. Let us now perform energy balance on some of the equipment.

4.6 موازنة الطاقة لمعدات التصنيع

كنا قد تناولنا عمليات الوحدات الصناعية في الفصلين الأول والثاني. وقمنا بإجراء موازنات المادة لمعظم معدات االتصنيع، وكان ذلك بغض النظرعما إذا كانت المعدات تتضمن انتقال الحرارة أو انتقال الكتلة أو انتقال الكتلة وانتقال الحرارة في آن معاً. وفي واقع التطبيق، يشمل **تصميم العمليات الصناعية** اجراء موازنتي الكتلة والطاقة، وخير الامثلة على ذلك تصميم اجهزة التجفيف والتبخير والمبادلات الحرارية والغلايات. تعتمد موازنة الطاقة لهذه المعدات بشكل اساسي على تقدير كميات الحرارة الداخلة اليها والخارجة منها. وذلك لعدم وجود انتقال طاقة ميكانيكية وعدم وجود شغل منجز فيها او عليها، بالاضافة الى ذلك يهمل تأثيركل من الطاقة الحركية والطاقة الكامنة في معظم المعدات. ومع ذلك، فإن موازنة الطاقة **للمعدات الدوارة** مثل الضواغط تتضمن انتقال الحرارة وانتقال الطاقة الميكانيكية، كما هوموضح في المثال (4.3). دعونا الآن نجري موازنة الطاقة لبعض معدات العمليات الصناعية.

4.6.1 Energy Balance for a Steam Boiler

A **steam boiler** *is a closed vessel used to generate steam by burning fuel to heat and evaporate liquid water*. It usually consists of a number of tubes to heat pressurised stream of water and generate steam at the required pressure for power plants. We now apply equation 4.16 to conduct the energy balance:

4.6.1 موازنة الطاقة للمرجل البخاري

المرجل البخاري هو عبارة عن *وعاء مغلق يستخدم لتوليد بخار الماء عن طريق احتراق الوقود لتسخين وتبخير الماء السائل*، ويسمى ايضا **الغلاية البخارية**. يتكون المرجل عادة من عدة انابيب يُسخن في داخلها تيارماء مضغوط لتوليد البخار بالضغط المناسب لمحطات الطاقة الكهربائية. نطبق الآن المعادلة (4.16) لاجراء موازنة الطاقة:

$$\Delta\dot{H} = \dot{Q} \qquad \text{(Eqn 4.16)}$$

$$\dot{H}_2 - \dot{H}_1 = \dot{Q}$$

$$\dot{m}\ (h_2 - h_1) = \dot{Q} \qquad (4.17)$$

h_1 and h_2 are the specific enthalpies in kJ/kg at the inlet and outlet of the boiler. $\dot{Q}$ is the rate of heat input in kJ/s. The enthalpy h_1 is the water feed enthalpy and h_2 is the enthalpy of steam at the outlet. Both are evaluated from steam tables.

يمثل كل من (h_1) و (h_2) قيم الانثالبي النوعية بوحدات كيلوجول/كغم (kJ/s) في مدخل ومخرج المرجل، و ($\dot{Q}$) هو معدل انتقال الحرارة المزودة للمرجل بوحدات كيلوجول/ثانية (kJ/s). علماً ان (h_1) هو انثالبي الماء الداخل و (h_2) انثالبي بخار الماء الخارج من المرجل، حيث يمكن استخراج قيمهما من جداول بخار الماء.

Example 4.5

A steam boiler is fed with water at 25°C at the rate of 1.2 kg/s. The boiler pressure is 19.06 bar, and the vapour at the exit is **dry saturated steam**. Determine the rate of heat supply to the boiler. Read the enthalpy of water h_f from steam tables at 25°C.

المثال 4.5

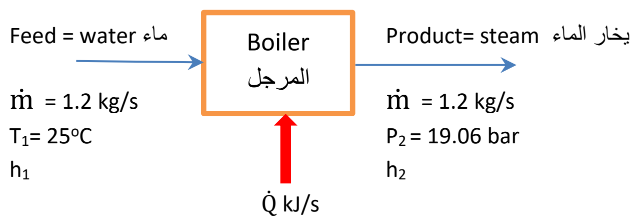
يدخل الماء الى مرجل بخاري عند 25 درجة مئوية بمعدل 1.2 كغم/ثانية (kg/s)، حيث كان الضغط في المرجل بحدود 19.06 بار. فاذا كان البخار يخرج **كبخار ماء مشبع جاف**، اوجد معدل تجهيز الحرارة للمرجل البخاري. استخرج انثالبي الماء h_f من جداول بخار الماء عند 25 درجة مئوية.

Solution

The flowchart:

الحل

مخطط البيانات الانسيابي:



We apply equation 4.17. The specific enthalpies are read from the **steam tables** (available in thermodynamics books and Internet). In this example, we consult the saturated steam tables. In these tables, water specific enthalpies are tabulated as h_f at different saturation temperatures or pressures. Dry saturated steam specific enthalpies are listed under h_g.

نستخرج قيم الانثالبي النوعية من **جداول بخار الماء** (الجداول متوفرة في كتب ديناميك الحرارة والإنترنت) ونطبق المعادلة (4.17). وفي هذا المثال، نعتمد جداول البخار المشبع، حيث نجد قيم الانثالبي النوعية للماء السائل مدرجة تحت الرمز (h_f) عند درجات حرارة التشبع المختلفة، أو بقيم للضغط المناظرة لدرجات التشبع. بينما تُدرج قيم الانثالبي النوعية للبخار المشبع الجاف تحت الرمز (h_g).

From steam tables, the specific enthalpy of water h_1 is h_f at 25°C:

نستخرج من جداول بخار الماء الانثالبي النوعية للماء (h_1) = (h_f) عند 25 درجة مؤية:

$h_1 = h_f$ at 25°C = 104.9 kJ/kg , this is close to h for compressed water.

هذه القيمة مقاربة لقيمة الانثالبي للماء المضغوط في نفس درجة الحرارة.

The specific enthalpy of dry saturated steam h_g is to be found at the pressure 19.06 bar which is 1.905 MPa (1 bar = 100 kPa). The corresponding saturation temperature on the steam tables is 210°C.

نستخرج قيمة الانثالبي النوعية للبخار الجاف المشبع (h_g) من جداول بخار الماء عند الضغط 19.06 بار اي ما يعادل 1.905 ميجا باسكال (1 بار = 100 كيلو باسكال) ، حيث ان درجة حرارة التشبع المقابلة لهذا لضغط هي 210 درجة مئوية.

$h_2 = hg$ at = 210°C = 2798.5 kJ/kg

$\dot{m}\ (h_2 - h_1) = \dot{Q}$ (Eqn. 4.17)

Heat supplied to the boiler: الحرارة المجهزة للمرجل:

$\dot{Q}$ = 1.2 (2798.5 - 104.9) = 3232.32 kJ/s = 3.232 MJ/s

Comments

1. The student should get acquainted with tabulated data including steam tables.
2. The change in enthalpy at a constant pressure is the same as the **latent heat of vaporisation**, given in steam tables as h_{fg}.

الملاحظات

1. يجب ان يتعرف الطالب على كيفية استخدام البيانات والمعلومات المجدولة بما في ذلك جداول بخار الماء.
2. ان التغير في الانثالبي بثبوت الضغط هو نفس **الحرارة الكامنة للتبخر** التي تتوفر قيمها في جداول بخار الماء بالرمز (h_{fg}).

Exercise

Solve the example by adding another stream of water at 65°C entering the boiler at the rate of 1.35 kg/s.

تمرين

كرر حل المثال بإضافة مجرى آخر من الماء درجة حرارته 65 درجة مئوية يدخل المرجل بمعدل 1.35 كغم/ثانية.

4.6.2 Energy Balance for a Heat Exchanger

Heat exchangers are used in industry to heat or cool fluid by exchanging heat between two fluids. In a **double pipe heat exchanger**, one fluid flows in the inner pipe and the other flows in the annular space between the concentric pipes. The energy balance for a heat exchanger disregards potential energy, kinetic energy and work. Accordingly, at steady state, the **enthalpy change** for the hot fluid equals the change in enthalpy for the cold fluid,

4.6.2 موازنة الطاقة للمبادل الحراري

تُستخدم المبادلات الحرارية في المصانع لتسخين أو تبريد الموائع عن طريق تبادل الحرارة بين مائعين في حالة الجريان. ففي **المبادل الحراري الانبوبي الذي** يتألف من انبوبين متمركزين يتدفق احد الموائع في الأنبوب الداخلي ويتدفق الآخر في الفراغ الحلقي بين الأنبوبين المتمركزين. وفيما يخص موازنة الطاقة للمبادل الحراري، فلا يوجد شغل منجز في الجهاز وتُهمل الطاقة الكامنة والطاقة الحركية فيه، وعليه فإن **التغير في الإنثالبي** للمائع الساخن يساوي التغير في الإنثالبي للمائع البارد في حالة استقرار الجريان.

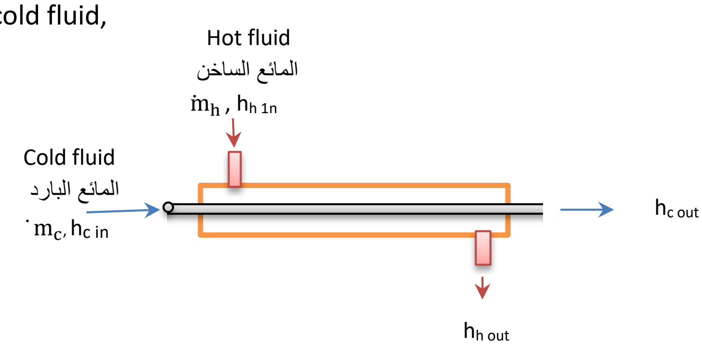


Figure 4.2 Double pipe heat exchanger **الشكل 4.2** المبادل الحراري الانبوبي

$$\dot{m}_h\ (h_{h\ 1n} - h_{h\ out}) = \dot{m}_c\ (h_{c\ out} - h_{c\ in}) \qquad (4.24)$$

There are many types of heat exchangers and the most popular type in industry is the **tube and shell heat exchanger**. The details of all types of heat exchanger are available in heat transfer books.

هناك العديد من أنواع المبادلات الحرارية والنوع الأكثر شيوعاً في مجال الصناعة هو **المبادل الحراري ذو الغلاف والانابيب**. تتوفر تفاصيل المبادلات الحرارية بشتى انواعها في كتب انتقال الحرارة.

Example 4.6

المثال 4.6

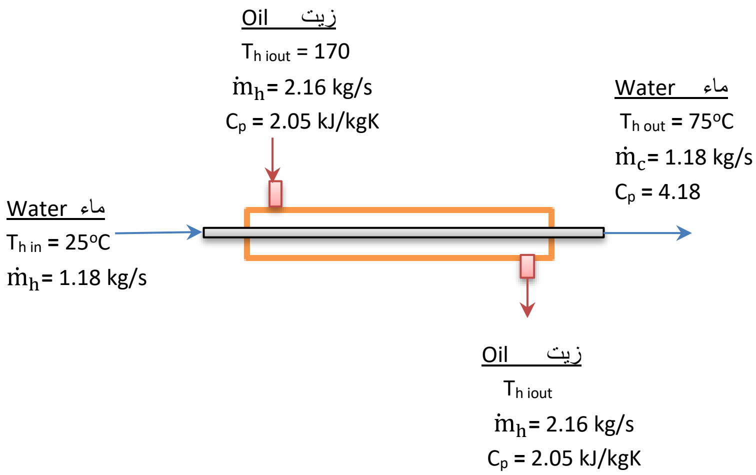
An insulated double pipe heat exchanger is used to heat water from 25°C to 75°C at the rate of 1.18 kg/s. Heating-oil at 170°C enters the shell side (the annular space) at the rate of 2.16 kg/s. Determine the temperature of the oil leaving the exchanger.

يستخدم مبادل حراري انبوبي معزول حرارياً لتسخين الماء من (25°C) الى (75°C) بمعدل (1.18 kg/s). يدخل زيت التسخين الى غلاف المبادل الحراري (الفراغ الحلقي بين الانبوبين) بدرجة حرارة تساوي (170°C) وبمعدل جريان (2.16 kg/s). احسب درجة حرارة الزيت الخارج من المبادل الحراري.

$$C_{p,water} = 4.18\ kJ/kg.K\ ,\quad C_{p,oil} = 2.05\ kJ/kg.K$$

Solution

الحل



A schematic for the heat exchanger including the data

رسم تخطيطي للمبادل الحراري مع المعلومات المتوفرة

We apply equations 4.22 and 4.24

نطبق المعادلتين (4.22) و (4.24)

$$(\Delta H)_p = m\ C_P\ (T_2 - T_1) \qquad \text{(Eqn. 4.22)}$$

$$\dot{m}_h\ (h_{h\ 1n} - h_{h\ out}) = \dot{m}_c\ (h_{c\ out} - h_{c\ in}) \qquad \text{(Eqn. 4.24)}$$

Substituting in terms of

بالتعويض بدلالة (C_p)

$$\dot{m}_h\ C_{p\ oil}\ (T_{h\ in} - T_{h\ out}) = \dot{m}_c\ C_p\ (T_{c\ out} - T_{c\ in})$$

Inserting the known values, وبادخال المقادير المعلومة،

$$2.16 \times 2.05\,(170 - T_{h\,out}) = 1.18 \times 4.18\,(75 - 25)$$

Temperature of the oil leaving the exchanger: درجة حرارة الزيت الخارج:

$$T_{h\,out} = \underline{114.304^{o}C}$$

Exercise **تمرين**

Use excel to solve the example. حل المثال باستخدام برنامج الاكسيل.

4.6.3 Energy Balance for Heating Pipes

4.6.3 موازنة الطاقة لانابيب التسخين

For **heating pipes**, such as the type used in home heating, an energy balance is required to design the system. Obviously, no work is done inside the pipes and both kinetic and potential energy changes may be neglected. Thus,

فيما يخص **أنابيب التسخين**، مثل النوع المستخدم في التدفئة المنزلية، فإن تصميم المنظومة يستلزم اجراء موازنة الطاقة. وبطبيعة هذه المنظومات فلا يُنجز اي شغل داخل الأنابيب، كما يمكن إهمال تغيرات الطاقة الحركية والطاقة الكامنة. وعليه،

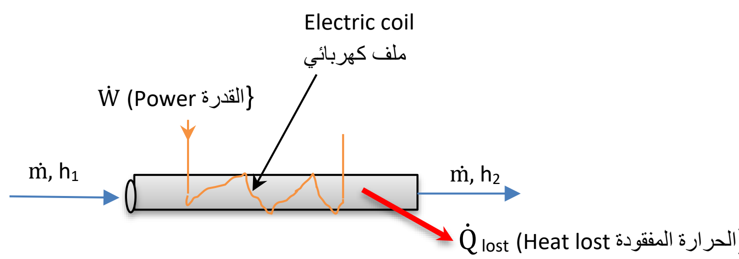


Figure 4.3 Heating pipe **الشكل 4.3** احد انابيب التسخين

Energy in = Energy out الطاقة الداخلة = الطاقة الخارجة

$$\dot{W} + \dot{m}\,h_1 = Q_{lost} + \dot{m}\,h_2 \qquad (\Delta KE = 0, \quad \Delta PE = 0)$$

$$\dot{W} = \dot{Q}_{lost} + \dot{m}\,(h_2 - h_1) \qquad (4.25)$$

Example 4.7

المثال 4.7

Air at 16°C is passed over an electric coil fixed inside a pipe as part of the heating system in a building. The power supply to the heating coil is 18 kW and the air flow rate is 2.55 m^3/s. If the heat lost to the surrounding is 250 W, calculate the temperature of air at the exit.

يُمرر الهواء بدرجة حرارة مقدارها (16°C) فوق ملف كهربائي مثبت داخل أنبوب كجزء من نظام التدفئة في مبنى معين. وكان مقدار القدرة المجهزة لملف التسخين يساوي (18 kW) ومعدل جريان الهواء $2.55\ m^3/s$). فإذا علمت ان معدل فقدان الحرارة الى المحيط يساوي (250 W)، احسب درجة حرارة الهواء الخارج من انبوب التسخين،

$$C_p = 1.005\ kJ/kg\ ,\ \rho = 1.2\ kg/m^3$$

$$\dot{W} = \dot{Q}_{lost} + \dot{m}\,(h_2 - h_1) \qquad \text{(Eqn. 4.25)}$$

$$H = C_p\,\Delta T$$

$$\dot{W} = \dot{Q}_{lost} + \dot{m}\,C_p\,(T_2 - T_1)$$

$$\dot{m} = \dot{Q} \times \rho = 2.55 \times 1.2 = 3.06\ \text{kg/s}$$

Substitution yield, بالتعويض نحصل على

$$18 \times 10^3 = 250 + [3.06 \times 1.005 \times 10^3\,(T_2 - 16)]$$

$$T_2 = \underline{21.771^{o}C}$$

Comments

The electric power supply $\dot{W}$ may be calculated from the values of the electric current and voltage of the power supply.

الملاحظات

نستطيع تخمين القدرة الكهربائية المجهزة ($\dot{W}$) من قيم التيار الكهربائي والجهد لمصدر الطاقة الكهربائية.

Power = voltage x current القدرة = الجهد x التيار

4.6.4 Energy Balance for Mixing Systems

Mixing two streams of fluids can be accomplished by joining two pipes using pipe fittings such as T or Y junctions. A **mixing chamber** (Fig 4.4) may also be employed for this purpose. Mixing of cold water with hot water in homes is a good fluid-mixing example.

4.6.4 موازنة الطاقة لمنظومات خلط الموائع

يمكن خلط تيارين من الموائع عن طريق ربط أنبوبين باستخدام وصلات الأنابيب مثل تقاطعات T أو Y, ويمكن أيضًا استخدام **وعاء الخلط** لهذا الغرض كما هو موضح في الشكل (4.4). يُعد خلط الماء البارد بالماء الساخن في المساكن افضل مثال لعملية خلط الموائع.

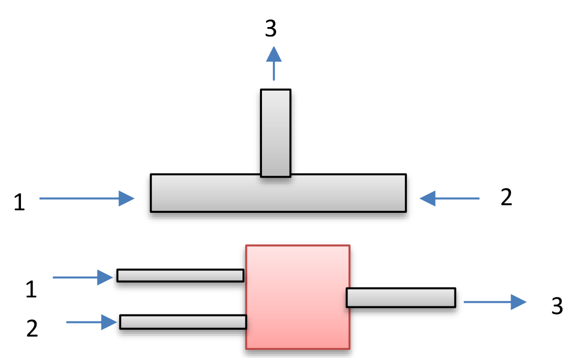


Figure 4.4 Mixing systems **الشكل 4.4** منظومات خلط الموائع

Performing an energy balance on mixing in industry helps to determine some of the stream variables of the system such as enthalpy and velocity.

يساعد اجراء موازنة الطاقة لعملية الخلط في المجال الصناعي على معرفة بعض المتغيرات كالانثالبي وسرعة الجريان في مجاري المنظومة.

Energy balance based on Fig 4.4, موازنة الطاقة بناءً على الشكل (4.4)،

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2$$

$$(\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 \qquad (4.26)$$

Example 4.8

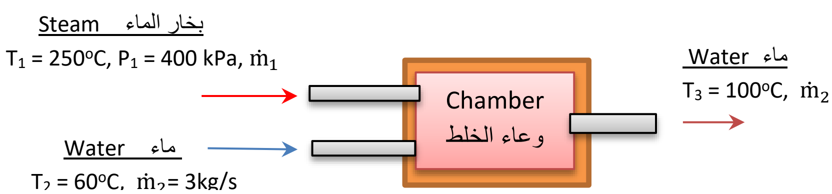
المثال 4.8

Water at 60°C is heated at the rate of 3.0 kg/s by mixing with steam in an insulated mixing chamber. Superheated steam at 250°C and 400 kPa is supplied to the chamber. The mixture leaves the chamber as liquid water at 100°C. How much steam must be supplied to the chamber per hour?

يُسخن ماء درجة حرارته (60°C) عن طريق خلطه ببخار الماء بمعدل (3.0 kg/s) في وعاء خلط معزول حرارياً. يُزود الوعاء ببخار محمص درجة حرارته (250°C) وضغطه (400 kPa)، يخرج الخليط على هيئة ماء سائل عند درجة الحرارة (100°C). ما هي كمية بخار الماء التي يجب تزويدها الى وعاء الخلط في كل ساعة؟

Solution

الحل



Flow chart for the mixing process
مخطط البيانات الانسيابي لعملية الخلط

Solution

الحل

$$(\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 \qquad \text{(Eqn. 4.26)}$$

h_1 = 2964.2 kJ/kg (from super heat steam tables (أستخرجت من جداول البخار المحمص)

$h_2 = h_f$ at 60°C = 251.1 kJ/kg (from saturated steam tables (من جداول البخار المشبع)

$h_3 = h_f$ at 100°C = 419 kJ/kg (from saturated steam tables) (من جداول البخار المشبع)

Substituting, وبالتعويض نحصل على,

$$(\dot{m}_1 + 3.0)\ 419 = (\dot{m}_1 \times 2964.2) + (3.0 \times 251.1)$$

$$3.0\ (419 - 251.1) = \dot{m}_1 (2964.2 - 419)$$

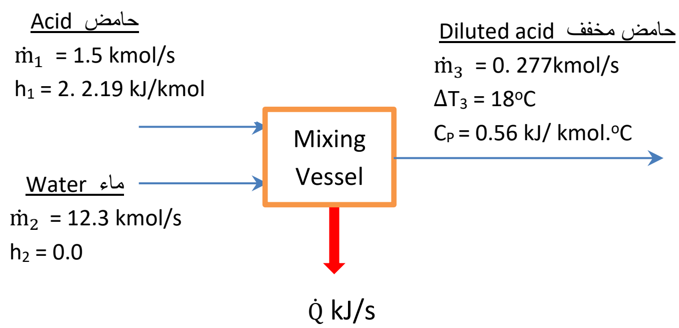
$$\dot{m}_1 = \underline{0.1979\ kg/s}$$

Exercise

تمرين

The exothermic dilution of an acid is presented in the following flowchart. Calculate the rate of heat removal from the mixing vessel.

يبين مخطط البيانات الانسيابي في ادناه عملية تخفيف حامض تولد الحرارة، احسب معدل ازالة الحرارة من وعاء الخلط.



Note that, the energy balance for this system is written as follows

لاحظ ان موازنة الطاقة لهذه المنظومة تُكتب على النحو التالي

$$\Delta\dot{H} = \dot{Q} \qquad \text{(Eqn 4.16)}$$

$$\dot{m}_3\, h_3 - (\dot{m}_1\, h_1 + \dot{m}_2\, h_2) = \dot{Q} \qquad (4.27)$$

4.6.5 Balance for Phase Change Processes

4.6.5 موازنة الطاقة لعمليات تغير الطور

The **phase change** of a fluid in industry processes may take place by evaporation of liquid or condensation of vapour. Phase change occur at constant temperature and pressure. The amount of heat absorbed to convert a unit mass of liquid to vapour at constant temperature is called the **latent heat of vaporisation** or simply **heat of vaporisation** $(\Delta h_{vap})_{T,P}$. The constant temperature at a given pressure during evaporation is known as the **boiling point** of the liquid.

قد ينتج **تغير طور** المائع في العمليات الصناعية عن طريق تبخير السائل أو عن تكثيف البخار، حيث يحدث تغير الطور عند درجة حرارة وضغط ثابتين. وتسمى كمية الحرارة المكتسبة لتحويل وحدة الكتلة من السائل إلى بخار عند درجة حرارة ثابتة **الحرارة الكامنة للتبخر** او باختصار **حرارة التبخر**، رمزها $[(\Delta h_{vap})_{T,P}]$. وتعرف درجة الحرارة الثابتة عند ضغط معين اثناء عملية التبخر **درجة غليان السائل**.

Condensation of vapour at constant temperature releases the same amount of heat as it gains during evaporation. The Heat released is known as the **latent heat of condensation** $(\Delta h_{cond})_{T,P}$. In general, the latent heat of phase change is equal to the difference in specific enthalpy between a liquid and a vapour at constant temperature and pressure,

يؤدي تكثيف البخار عند درجة حرارة ثابتة إلى فقدان نفس كمية الحرارة التي يكتسبها اثناء التبخر، وتُسمى كمية حرارة المنفقودة **الحرارة الكامنة للتكثيف** $(\Delta h_{cond})_{T,P}$. وبشكل عام، يمكن اعتبار الحرارة الكامنة لتغير الطور مساوية للفرق بالانثالبي النوعية بين السائل والبخار عند درجة حرارة وضغط ثابتين،

$$(\Delta h_{vap})_{T,P} = (h_{vap} - h_{liq})_{T,P.} \tag{4.28}$$

$$(\Delta h_{cond})_{T,P} = (h_{liq} - h_{vap})_{T,P.} \tag{4.29}$$

It is clear from the equations 4.28 and 4.29 that the heat of condensation has the same value as the heat of vaporisation wih an opposite sign.

Values of heat of vaporisation of water are referred to as h_{fg}; they are available in steam tables. **Molar heat of vaporization** in kJ/kmol for various liquids are listed in relevant sources.

Energy balance on condensers of steam and steam generators (boilers) involve latent heats of water provided by steam tables as h_{fg}, ($h_{fg} = h_g - h_f$). As for the energy balance on condensers of other substances, it requires the knowledge of values for the latent heat value for that species. Example 4.5 dealt with steam generation in a boiler; we will now solve an example for energy balance on a condenser.

يتضح من المعادلتين (4.28 و 4.29) إن حرارة التكثيف لها نفس قيمة حرارة التبخر ولكن باشارة معاكسة.
يشار إلى قيم حرارة تبخر الماء بالرمز(h_{fg})؛ حيث انها متوفرة في جداول بخار الماء. كما تتوفر قيم **حرارة التبخر المولية** بوحدات كيلوجول/كمول لعدد من السوائل في المصادر ذات الصلة.

تتضمن موازنة الطاقة لمكثفات بخار الماء او لمولدات البخار (المراجل البخارية) الحرارة الكامنة للماء بالصيغة (h_{fg})، وهي متاحة في جداول بخار الماء، ويمكن ان تُحسب بواسطة المعادلة ($h_{fg} = h_g - h_f$). وفيما يخص المواد الأخرى، فتتطلب موازنة الطاقة لاجهزة تكيثفها معرفة قيم الحرارة الكامنة لتكثيف بخار تلك المادة. وقد تناولنا في المثال (4.5) توليد بخار الماء في مرجل بخاري، وسنقوم الآن بحل مثال لموازنة الطاقة يخص تكثيف البخار.

Example 4.9

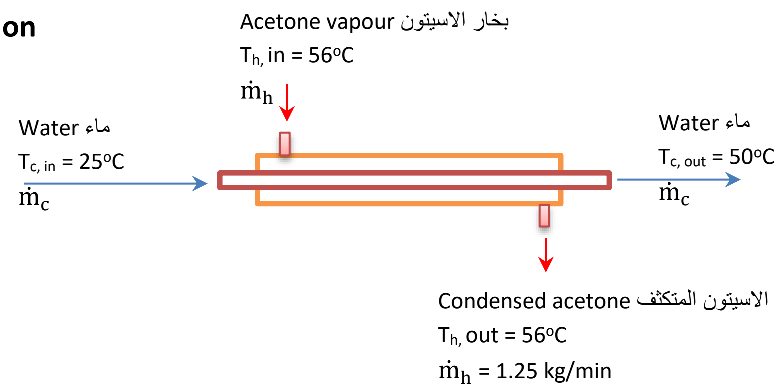
المثال 4.9

An insulated double pipe condenser is used to condense a stream of acetone vapour at atmospheric pressure saturated vapour at the rate of 1.25 kg/min; cooling water is available at 25°C. If the water exits the condenser at 50°C, calculate the flow rate of water in the inner tube.

يُستخدم مكثف بخار معزول حرارياً يتكون من انبوبين متمركزين لتكثيف بخار الاسيتون تحت تأثير الضغط الجوي بمعدل 1.25 كغم/دقيقة، حيث يتوفر ماء التبريد عند 25 درجة مئوية. اذا كان ماء التبريد يخرج من المكثف عند 50 درجة مئوية، احسب معدل جريان الماء في الأنبوب الداخلي.

Boiling point = 56°C = درجة الغليان

Solution



Schematic for the condenser رسم تخطيطي لمكثف البخار

We consult the table for properties of acetone to find the latent heat of condensation of acetone. It is 534 kJ/kg at 56°C.

نتفحص الجدول الخاص بخواص مادة الأسيتون لايجاد الحرارة الكامنة لتكثيف الأسيتون، حيث نجد انها تساوي 534 كيلوجول/كغم عند 56 درجة مئوية.

Energy balance for the condenser: **موازنة الطاقة للمكثف:**

$\dot{m}_h(h_{h\,1n} - h_{h\,out}) = \dot{m}_c\,(h_{c\,out} - h_{c\,in})$ (Eqn. 4.24)

$(\Delta h_{cond})_{T,\,P} = (h_{liq} - h_{vap})_{T,P.}$ (Eqn.4.29)

We combine equations 4.23, 4.28 نجمع المعادلتين

$\dot{m}_h(h_{liq} - h_{lvap})_{T,P} = \dot{m}_c\,(h_{c\,out} - h_{c\,in})$

$\dot{m}_h\,(\Delta h_{cond})_{T,P} = \dot{m}_c\,(h_{c\,out} - h_{c\,in})$ (4.30)

$(1.25/60) \times 534 = \dot{m}_c\,(h_{f,\,out} - h_{f\,in})$

Values of water enthalpies from steam tables: قيم انثالبي الماء من الجداول هي:

$h_{f,in} = h_f$ at 25°C = 104.9 kJ/kg

$h_{f,out} = h_f$ at 50°C = 209.3kJ/kg

$(1.25/60) \times 534 = \dot{m}_c\,(209.3 - 104.9)$

Flow rate of cooling water $(\dot{m}_c)$ = <u>0.1065 kg/s</u> معدل جريان ماء التبريد

Comments **الملاحظات**

1. If the double pipe condenser is found to be too long, the **shell and tube condenser** will be more suitable for this duty.
2. The enthalpy change for water may be calculated by instead of tables.

1. اذا وجد ان المكثف الانبوبي طويل للغاية يصبح **المكثف ذو الغلاف والأنابيب** اكثر ملاءمة لهذا المهمة.
2. يمكن تقدير التغير بمقدار انثالبي الماء من المعادلة التالية بدلا من جداول بخار الماء:

$$\Delta h = C_p\,\Delta T = 4.18\,(T_2 - T_1)$$

Exercise

Determine the temperature of the cooling water at the exit of a steam double pipe condense; the water runs at the rate of 3.5 kg/min. The water temperature at the entrance of the inner pipe is 20°C. The steam enters the condenser as dry saturated steam at 100°C and leaves as saturated liquid.

تمرين

اوجد درجة حرارة ماء التبريد الخارج من مكثف أنبوبي، حيث يجري بمعدل 3.5 كغم/دقيقة. يدخل الماء الى الأنبوب الداخلي عند 20 درجة مئوية. ويدخل بخار الماء إلى المكثف على شكل بخار جاف مشبع عند درجة الحرارة 100 درجة مئوية ويخرج منه على هيئة سائل مشبع.

How to solve the exercise:

Find h_{fg} at 100°C from steam tables which is the same as the heat of condensation. Calculate the water specific enthalpy at the exit and then find the corresponding temperature from steam tables.

طريقة حل التمرين:

استخرج قيمة (h_{fg}) عند 100 درجة مئوية من جداول بخار الماء، وهي تساوي حرارة التكثيف. احسب الانثالبي النوعية للماء الخارج من المكثف، ثم ابحث عن درجة الحرارة المقابلة للانثالبي في جداول بخار الماء.

4.7 Mechanical Energy Balance

The design of piping systems in industry depends on the evaluation of **friction losses**, potential energy and kinetic energy. If the system is thermally insulated, the energy balance will include only mechanical energy forms. Because there is no work and no heat transfer in an insulated piping system.
The energy balance is based on equation 4.9.

4.7 موازنة الطاقة الميكانيكية

يعتمد تصميم منظومات الانابيب في المجال الصناعي على تقييم كل من **مفقودات الاحتكاك** والطاقة الكامنة والطاقة الحركية. واذا كانت المنظومة معزولة حرارياً فإن موازنة الطاقة ستتضمن اشكال الطاقة الميكانيكية فقط ، وذلك لانه لا ينجز شغل ولا يحصل انتقال الحرارة في منظومة الانابيب المعزولة.

تستند موازنة الطاقة الى المعادلة (4.9).

We have equation 4.9 for a closed system:

لدينا المعادلة (4.9) للمنظومة المغلقة:

$$\Delta E = \Delta U + \tfrac{1}{2} mv^2 + mgz = Q_{in} - W_{out} \quad \text{(Eqn 4.9)}$$

For an open system:

وللمنظومة المفتوحة:

$$\dot{H}_{out} + \tfrac{1}{2}\dot{m}(u_{out})^2 + \dot{m}gz_{out} - \dot{H}_{in} + \tfrac{1}{2}\dot{m}(u_{in})^2 + \dot{m}gz_{in} = \dot{Q}_{out} - \dot{W}_{out} \quad (4.14)$$

$$H = U + PV$$

$$[\dot{U}_{out} + \tfrac{1}{2}\dot{m}(u_{out})^2 + \dot{m}gz_{out} + (P.\dot{V})_{out}] - [\dot{U}_{in} + \tfrac{1}{2}\dot{m}(u_{in})^2 + \dot{m}gz_{in} + (P.\dot{V})_{in}] = \dot{Q}_{in} - W_{out}$$

$$\Delta\dot{U} + \dot{m}.(\Delta u^2/2) + (\dot{m}.\Delta(g.z) + \dot{m}.\Delta(P.\hat{v}) = \dot{Q}_{in} - W_{out}$$

$$(\Delta\dot{U} - \dot{Q}_{in}) + \dot{m}.(\Delta u^2/2) + \dot{m}.\Delta(g.z) + \dot{m}.\Delta(P.\hat{v}) = -W_{out}$$

For incompressible fluids (liquids), $\Delta(P.\hat{v}) = \Delta P/\rho$ هذا ينطبق على الموائع غير الانضغاطية (السوائل)

$(\Delta\dot{U} - \dot{Q}_{in})$ is associated with friction inside a pipe. يرتبط هذا المقدار بتوليد الاحتكاك داخل الانبوب.

There is no external work done by or on the fluid (which is the system), thus, - W_{out} or + W_{in} is equal to zero.

ويما انه لايوجد شغل خارجي منجز من او على المائع (اي المنظومة) لذا (W_{out} - او W_{in} +) يساوي الصفر.

If we assume the flow inside the pipe frictionless:

ولو افترضا أن الجريان خالٍ من الاحتكاك:

$$(\Delta\dot{U} - \dot{Q}_{in}) = 0.0$$

Thus the simplified mechanical energy balance equation is written as,

و هكذا نحصل على معادلة موازنة الطاقة الميكانيكية المبسطة بالصيغة التالية:

$$\dot{m} \,.\, (\Delta u^2 /2) + \dot{m} \,.\, \Delta(g.z) + \dot{m} \,.\, \Delta P/ \rho) = 0.0$$

$$\frac{\Delta u^2}{2} + g\,\Delta z + \frac{\Delta P}{\rho} = 0.0 \qquad (4.31)$$

Equation 4.30 is known as **Bernoulli equation.**

تُعرف المعادلة (4.30) باسم **معادلة برنولي**.

4.7.1 Piping systems

4.7.1 منظومات الانابيب

Pressure difference or pressure drop (ΔP) is one of the important parameters required for the design of piping systems. The Bernoulli equation may be used to evaluate (ΔP) for friction less flow of liquids in **smooth pipes**, as illustrated in the following example.

يُعد **فرق الضغط** اوهبوط الضغط (ΔP) احد المعلمات المهمة التي يجب معرفتها لغرض تصميم منظومات الأنابيب. ويمكن تقيمه باستخدام معادلة برنولي لجريان السوائل في **الانابيب الملساء** (اي افتراض عدم وجود الاحتكاك)، كما هو موضح في المثال التالي.

Example 4.10

المثال 4.10

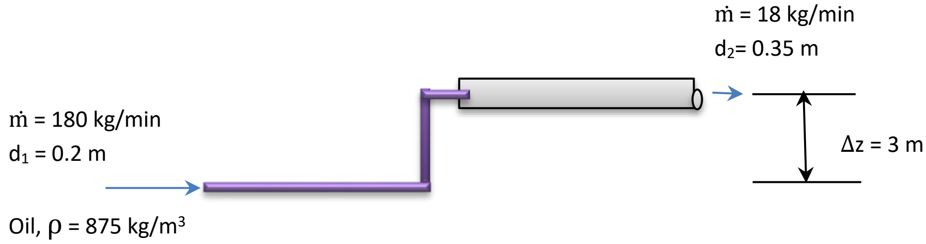
A petroleum fluid, density 875 kg/m^3, is flowing in a smooth pipe having internal diameter of 0.2 m. The pipe runs for a certain distance and then rises 3 m above ground level where it is connected to a second pipe of diameter 0.35 m. If the flow rate of the fluid is 180 kg/min, calculate the pressure difference in the system; neglecting friction.

يجري ســـائل نفطي كثافته (875 kg/m^3) في انبوب املس قطره الداخلي 0.2 m إلى مســـافة معينة ثم يعلو (3m) عن مستوى سطح الأرض حيث يتصل بانبوب آخر قطره 0.35 . فاذا كان معدل الجريان في المنظومة 180 kg/min , أحســـب مقدار فرق الضـــغط في المنظومة مهملاً الاحتكاك.

g = 9.81 m/s^2 m/s^2

Solution

الحل



We apply Bernoulli equation to evaluate the pressure difference ΔP,

نطبق معادلة برنولي لحساب فرق الضغط (ΔP)،

$$\frac{\Delta u^2}{2} + g\,\Delta z + \frac{\Delta P}{\rho} = 0.0 \qquad \text{(Eqn. 4.31)}$$

Velocities are calculated using flow rate:

نحسب السرعتين استناداً الى قيم معدل الجريان:

Volumetric flow rate $(\dot{V}) = \dot{m}/\rho$

$\dot{V} = 180/875 = 0.2057\ m^3/min$

$\dot{V} = 0.2057/60 = 0.003428\ m^3/s$

$\dot{V} = u \times A = u \times (\pi d^2/4)$

$u_1 = 0.003428 / (\pi\ 0.2^2/4) = 0.1091\ m/s$

$u_2 = 0.003428 / (\pi\ 0.35^2/4) = 0.0356\ m/s$

$\Delta u^2 = (0.1091)^2 - (0.0356)^2 = 0.010635\ m/s$

Substituting in equation 4.31: وبالتعويض في المعادلة (4.31) نحصل على:

$$(0.010635/2) + (9.81 \times 3) + \frac{\Delta P}{875} = 0.0$$

Pressure difference $(\Delta P = P_2 - P_1) = -25755.9$ Pa

$-\Delta P = = 25.755$ kPa

Comments

الملاحظات

The pressure difference ΔP is negative because the inlet pressure is higher than the outlet pressure. Naturally, this is required to push the oil into the piping system. (- ΔP) is used to get +ve values of pressure difference.

يحمل فرق الضغط (ΔP) علامة السالب لأن ضغط النفط الداخل أعلى من ضغطه عند خروجه من المنظومة. وبطبيعة الحال، هذا ضرووي لدفع النفط في منظومة الأنابيب. ويستخدم عادة (ΔP -) للحصول على قيم موجبة لفرق الضغط.

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad , \quad -\Delta P = P_1 - P_2$$

Exercise

تمرين

Solve the example using excel.

حل المثال باستخدام برنامج الاكسيل.

4.7.2 Pumping Power Calculation

Let us consider pumping of water from wells as an example. For such task, we need a pump to lift the water to ground level. Obviously the height or depth of the well is the main resistance to the water flow. If friction losses in J/kg E_f are neglected, and the pressure difference is also small enough to be ignored, the energy balance may be reduced as follows

4.7.2 حساب القدرة اللازمة لضخ السائل

دعونا نتخذ ضخ المياه من الآبار كمثال، فلانجاز هذه المهمة نحتاج الى مضخة ترفع الماء الى مستوى سطح الارض. ومن الواضح أن ارتفاع أو عمق البئر يشكل المقاومة الرئيسية لجريان الماء. ففي حالة إهمال تأثير **طاقة الاحتكاك** (E_f) بوحدنت (J/kg) واعتبار فرق الضغط ضئيل بحيث يمكن إهماله، يمكن اختصار موازنة الطاقة على النحو التالي

$$\tfrac{1}{2}\dot{m}\,(u_{out})^2 + \dot{m}\,g\,z_{out} + \dot{Q}_{out} + \dot{m}\,E_f = \tfrac{1}{2}\dot{m}\,(u_{in})^2 + \dot{m}\,g\,z_{in} + \dot{W}_{in} \quad \text{(energy balance)}$$

$$\dot{W}_{in}/\dot{m} = \frac{\Delta u^2}{2} + g\,\Delta z + \frac{\Delta P}{\rho} + E_f \qquad (4.32)$$

$E_f = 0.0$ and $\dot{Q}_{out} = 0.0$ (For smooth insulated pippe للانابيب الملساء المعزولة حرارياً)

$\frac{\Delta P}{\rho} = 0.0$ If the pressure is close to atmospheric in the well.

يصح هذا الافتراض عندما يكون الضغط قريب من الضغط الجوي في البئر.

$\frac{\Delta u^2}{2} = 0.0$ negligible KE for flow in mooth pipe

تُهمل الطاقة الحركية للجريان في الانبوب الاملس.

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}\,g\,\Delta z \qquad (4.33)$$

Thus, the power for pumping n W = rate of potential energy in J/s.

وهكذا تكون القدرة اللازمة للضخ = معدل التغير بالطاقة الكامنة بالوحدات جول/ثانية.

Example 4.11

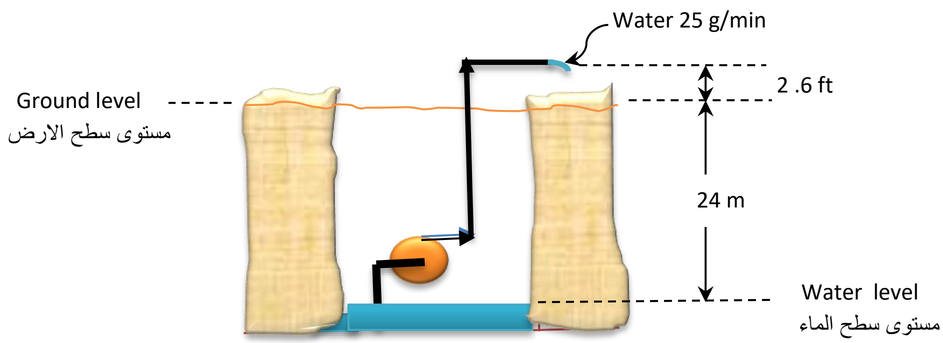
Calculate the power required to pump water from a well at the rate of 250 gallons/min through a smooth pipe. The depth of the well is 24m and the discharge is 2.6 ft above ground.

المثال 4.11

احسب القدرة اللازمة لضخ الماء من بئر بمعدل 250 غالون/دقيقة من خلال أنبوب أملس. علماً ان عمق البئر يساوي 24 مترا وانبوب التصريف يعلو 2.6 قدم عن سطح الأرض.

Solution

$\rho = 10^3$ kg/m^3, $g = 9.81$ m/s^{22}



The units of measurement must first be converted to the International (SI) system

يجب تحويل وحدات القياس اولاً الى نظام الوحدات العالمية (SI)،

25 gallons/min → m³/s

1 gallon = 3.785 litres

250 gallons/min = 250 x 3.785 = 946.25 L/min

$\dot{V}$ = 94.625 L/min = (946.25 x 10^{-3})/ 60 = 0.01577 m^3/s

2.6 ft → m

1 m = 3.2808 ft

2.6 ft = 2.6/3.2808 = 0.7925 m

Δz = 0.7925 + 24 =24.7925 m

We now apply equation 4.33 to determine the power $\dot{W}$ in kW,

نطبق الآن المعادلة (4.33) لتحديد مقدار القدرة ($\dot{W}$) بوحدات الكيلواط ،

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}\, g\, \Delta z \qquad \text{(Eqn.4.33)}$$

$$\dot{m} = \dot{V} \times \rho = 0.01577 \times 1000 = 15.77 \text{ kg/s}$$

$$\dot{W}_{in} = 15.77 \times 9.81 \times 24.7925 = 3835.49 \text{ W} = \underline{3.835 \text{ kW}}$$

Comments

1. If the water is to be pumped to another location relatively far away, the power required for pumping will be higher due to friction in the horizontal pipe.
2. If the power is known, we can evaluate the flow rate or pressure according to the available data.

الملاحظات

1. اذا كان المطلوب ضخ الماء إلى مكان آخر بعيد نسبياً، ستكون القدرة اللازمة للضخ أعلى بسبب وجود الاحتكاك في الانبوب الموازي لمستوى سطح الارض.
2. إذا كانت قيمة القدرة معلومة فيمكننا تقييم معدل الجريان أو الضغط حسب المعطيات المتوفرة.

Exercise

If the water is to be pumped to a distance of 12 km from the point of discharge, estimate the power required. Assume the friction to be 1.5 J/kg per meter length.

تمرين

اذا كان المطلوب ضخ الماء إلى مسافة 12 كم من نقطة التصريف، فاحسب الطاقة اللازمة. افترض أن الاحتكاك يساوي 1.5 جول/كغم لكل متر من طول الانبوب.

4.7.3 Hydraulic Power Calculation

We will show how to estimate the hydraulic power by solving the following example.

4.7.3 حساب القدرة الهايدروليكية

سنوضح كيفية تقدير الطاقة او القدرة الهايدرروليكية عن طريق حل المثال التالي.

Example 4.12

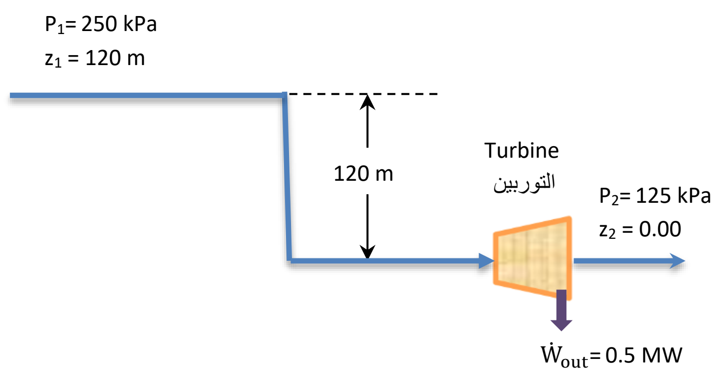
A hydraulic power generation plant consists of a turbine that generates 0.5 MW of power. The water runs through the turbine descending from at 120 m height. The pressure at that height is 250 kPa and at the outlet of the turbine is 125 kPa. Calculate the mass flow rate of the water required to deliver the power. Neglect friction and kinetic energy in the system.

المثال 4.12

تتكون محطة توليد طاقة هايدروليكية من توربين يولد 0.5 ميغاوات (0.5 MW) من القدرة الكهربائية. يتدفق الماء عبر التوربين نازلاً من ارتفاع 120 متراً. يبلغ الضغط عند هذا الارتفاع 250 كيلو باسكال، ومقداره في نقطة خروج الماء من التوربين 125 كيلو باسكال. احسب معدل جريان الماء الكتلي اللازم لتوليد القدرة المذكورة. اهمل الاحتكاك والطاقة الحركية في المنظومة.

Solution

الحل



Total energy out = Total energy in الطاقة الداخلة = الطاقة الخارجة

$$\dot{m}\ (P_2/\rho + gz_2 + u_2^2/2) + \dot{W}_{out} + E_f = \dot{m}\ (P_1/\rho + gz_1 + u_1^2/2)$$

$$0.0 = g\ \Delta z + (\frac{\Delta u^2}{2}) + \frac{\Delta P}{\rho} + \dot{W}_{out} + E_f$$

$$-\dot{W}_{out} = [g\ \Delta z + (\frac{\Delta u^2}{2}) + \frac{\Delta P}{\rho} + \dot{W} + E_f] \quad , \qquad E_f = 0.00$$

$$-\dot{W}_{out} = \dot{m}\ (g\ \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho}) \qquad (4.34)$$

$$\frac{\Delta u^2}{2} = 0.0 \quad , \quad \Delta z = z_2 - z_1\ , \quad \Delta P = P_2 - P_1$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 125 - 250 = -50,$$

Substituting: بالتعويض نحصل على:

$$-0.5 \times 10^6\ (W) = \dot{m}\ [(9.81\ (0.0 - 120) + (\frac{125 - 250}{1000})]$$

The mass flow rate of water $\dot{m}$ = <u>424.736 kg/s</u> معدل الجريان الكتلي

Comments

In hydraulic power generation, potential energy is converted to electric power by water turbine.

الملاحظات

يعتمد توليد القدرة الهيدروليكية على تحويل الطاقة الكامنة إلى طاقة كهربائية عن طريق التوربينات المائية.

Exercise

What will be the power generated if water descends from 160 m height at the rate of 2000kg/s?

تمرين

ما مقدار القدرة المتولدة إذا هبط الماء من ارتفاع 160 متراً وتدفق بمعدل جريان مقداره 2000 كغم/ثانية؟

4.7.4 Flow Rate in Pumping system

4.7.4 معدل الجريان في منظومة الضخ

Example 4.1.3

Oil of specific gravity SG = 0.88 is pumped from a storage tank to a vessel at 20 m above ground. If a 5 HP pump is used to pump the oil through a 4 inch smooth ipe, calculate the flowrate in gpm and the velocity in ft/s.

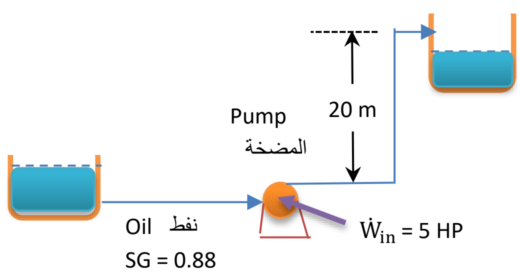
المثال 4.1.3

يُضخ سائل نفطي وزنه النوعي يساوي 0.88 من صهريج تخزين إلى وعاء يقع على ارتفاع 20 متراً فوق سطح الأرض. إذا استخدمت مضخة بقدرة 5 حصان (5 HP) لضخ النفط عبر أنبوب املس قطره 4 انج، احسب معدل الجريان بوحدات الغالون في الدقيقة (gpm وسرعة الجريان بالوحدات قدم/ ثانية (ft/s).

1 HP = 0.746 kJ/s, 1 gallon = 3.78 litres

Solution

الحل



We need to convert all units to be in the SI.

يجب تحويل جميع وحدات القياس لتكون بالنظام العالمي

$$\frac{5\ HP}{} \left| \frac{0.746\ kJ}{HP\ .\ s} \right| = 3.73\ kJ/s = 3730\ J/s$$

$$\frac{4\ in}{} \left| \frac{2.54\ cm}{in} \right| \frac{1m}{100\ cm} \right| = 0.1016\ m$$

We calculate the volumetric flow rate $\dot{V}$ in m^3/s using equation 4.32:

نستخدم المعادلة (4.32) لحساب معدل الجريان الحجمي ($\dot{V}$) بالوحدات (m^3/s):

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}\ \left(\frac{\Delta u^2}{2} + g\,\Delta z + \frac{\Delta P}{\rho} + E_f\right) \qquad \text{(Eqn. 4.32)}$$

$\dot{m} = \dot{V}\,\rho = \dot{V} \times SG \times \rho_{wqter}$ (density of water = 10^3 kg/m^3

Neglect friction, kinetic and potential energy,

نهمل الطاقة الحركية والكامنة والاحتكاك،

Substituting:

وبالتعويض:

$\dot{W}_{in} = \dot{V} \times SG \times \rho_{wqter} \times g\,\Delta z$

$3730 = (\dot{V} \times 0.88 \times 10^3) \times (9.81 \times 20)$

$\dot{V} = 0.0216\ m^3/s$

$\dot{V} = 0.0216 \times 60 = 1.296\ m^3/min$

Volumetric flow rate in gpm:

الحجم بوحدات الغالون/دقيقة:

1.296 m^3	1000 L	1 gallon
min	m^3	3.78 L

= 342.857 gpm

The velocity in ft/s:

السرعة بوحدات قدم/ثانية

$\dot{V} = u \times A$

A = cross section area of the pipe = $\pi d^2/4$ مساحة مقطع الانبوب

$\dot{V} = 0.0216\ m^3/s$

d = 0.1016 m

$u = \dot{V}/(\pi d^2/4) = 0.0216 / (\pi \times 0.1016^2/4)$

u = 2.664 m/s

1 m = 3.281 ft

u = 2.664 x 3.281= 8.740 ft/s

Comments

الملاحظات

If the flow rate is specified, the power for pumping the fluid can be calculated.

اذا كان معدل الجريان معلوماً فيمكننا حساب القدرة اللازمة للضخ المائع.

In such cases, the kinetic energy may be included in equation 4.32.

يمكن شمول الطاقة الحركية في المعادلة (4.32) لمثل هذه الحالات.

Exercise

تمرين

If the volumetric flow rate in the example is 0.023 m^3/s, what will be the power required for pumping the oil. What will be the effect of including the kinetic energy on the answer?

اذا كان معدل الجريان الحجمي في المثال يساوي 0.023 (m^3/s)، فما هي االقدرة اللازمة لضخ السائل النفطي، وماذا سيكون تأثير إضافة الطاقة الحركية على الإجابة؟

Review Questions and Problems

اسئلة المراجعة والمسائل

Basic Concepts

المفاهيم الاساسية

4.1 Explain the different forms of energy.

4.1 اشرح انواع الطاقة المختلفة.

4.2 What is the difference between energy and specific energy?

4.2 ما الفرق بين الطاقة والطاقة النوعية؟

4.3 write an equation for the total energy of a process system.

4.3 اكتب معادلة للطاقة الكلية لمنظومة صناعية.

4.4 How important are thermal and mechanical energies?

4.4 ما أهمية الطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية؟

4.5 How is work related to heat in thermodynamics?

4.5 ما هي العلاقة التي ترتبط الشغل بالحرارة في علم ديناميك الحرارة؟

4.6 Define internal energy, kinetic energy and potential energy.

4.6 عرف كل من الطاقة الداخلية والطاقة الحركية والطاقة الكامنة.

4.7 What is the difference between heat and thermal energy?

4.7 ما الفرق بين الحرارة والطاقة الحرارية؟

4.8 What are the conventional signs for heat input and heat output from the system?

4.8 ماهي الاشارات الاتجاهية للحرارة المكتسبة والحرارة المفقودة من المنظومة؟

4.9 Define work and write the equation. What is the sign convention for work in physical and chemical sciences?

4.9 عرف الشغل واكتب معادلة تعريفه. ما هي الاشارة الاتجاهية للشغل في المجال الفيزيائي والمجال الكيميائي؟

4.10 Derive an equation for work done at constant pressure.

4.10 اشتق معادلة للشغل المنجز بثبوت الضغط.

4.11 State the energy conservation principles.

4.11 اذكر نص قاعدة حفظ الطاقة.

4.12 Discuss the first law of thermodynamics.

4.12 ناقش القانون الاول لديناميك الحرارة.

4.13, Define system and explain the different types of thermodynamic systems.

4.13 عرف المنظومة واشرح انواع المنظومات الثرموديناميكية.

4.14 How do you define a process system? Give some examples.

4.14 كيف تُعرف منظومة التصنيع؟ اذكر بعض الامثلة.

4.15 What is meant by the property 'enthalpy'? How can enthalpy be related to the first law of thermodynamics?

4.15 ما المقصود بخاصية "الانثالبي" كيف يمكن ربط الانثالبي بالقانون الاول لديناميك الحرارة؟

4.16 How do you read specific enthalpy from steam tables? Download steam tables from the Internet.

4.16 كيف تستخرج قيم الانثالبي النوعية من جداول بخار الماء؟ قم بتنزيل الجداول من الإنترنت.

4.17 How do you conduct an energy balance for a batch process? What type of system is the batch processing system?

4.17 كيفتقوم بإجراء موازنة الطاقة لعملية صناعية ذات الدفعات المتعاقبة؟ وما هو نوع منظومة التصنيع التي تعمل على هيئة دفعات متعاقبة؟

4.18 Compare the energy balance of a closed system to an open system.

4.18 قارن بين موازنة الطاقة للمنظومة المغلقة والمنظومة المفتوحة.

4.19 What are the methods used to evaluate system properties?

4.19 ماهي الطرائق المتبعة لتقدير قيم خواص المنظومات؟

4.20 How do you calculate the specific values of internal energy and enthalpy for ideal gases?

4.20 كيف تحسب القيم النوعية للطاقة الداخلية والانثالبي التي تخص الغازات المثالية؟

Energy balances for closed systems

موازنة الطاقة للمنظومات المغلقة

4.21 A quantity of air is heated at constant pressure in a piston-cylinder arrangement. If the initial volume of air is 1.45 m^3 and the pressure is 200 kPa, evaluate the work done due to the expansion of the air to 2.70 m^3.

4.21 تُسَخن كمية من الهواء تحت تأثير ضغط ثابت في ترتيب أسطوانة ومكبس. فإذا كان الحجم الاولي للهواء (1.45 m^3) عند ضغط (200 kPa), حدد مقدارالشغل المنجز بسبب تمدد الهواء إلى الحجم (2.70 m^3).

4.22 If the specific heat capacity at constant pressure of the air in problem 4.21 is equal to 1.004 kJ/kgK and the mass 1.5 kg, determine the amount of heat added to the system. Assume air to be an ideal gas.

4.22 إذا كانت السعة الحرارية النوعية عند ضغط ثابت للهواء في المسألة (4.21) تساوي (1.004 kJ/kgK) والكتلة بحدود 1.5 كغم، أوجد كمية الحرارة المضافة للمنظومة. افترض الهواء غاز مثالي.

4.23 A rigid wall vessel contains nitrogen at 60 psi and 650 °C. Heat is lost from the vessel until the pressure drops to 32 psi, calculate the amount of heat transfer to the atmosphere per kilogramme during the process. How much work is done?

4.23 يحتوي وعاء ذو جدار صلب على غاز النايتروجين عند ضغط (60 psi) ودرجة حرارة (650 °C). يفقد الوعاء كمية من الحرارة حتى ينخفض الضغط إلى (32 psi). احسب كمية الحرارة المفقودة لكل كيلوغرام من الغاز إلى الغلاف الجوي أثناء عملية هبوط الضغط. ما هو مقدار الشغل المنجز؟

C_v= 0.743 kJ/kgK.

Ans. q = -302.698 kJ/kg, w = 0.0 الجواب

4.24 A gas is heated at constant pressure from 40°C to 85°C, Calculate the specific enthalpy change. Is there an internal energy change?

4.24 يسخن غاز معين من 40 درجة مئوية الى 85 درجة مئوية بثبوت الضغط، احسب مقدار التغير بالانثالبي النوعية. هل هناك اي تغير بمقدار الطاقة الداخلية؟

C_v= 0.75 kJ/kgK.

4.25 How much heat is required to evaporate 2.5 kg of water at atmospheric pressure? Use steam tables.

4.25 ما مقدار الحرارة اللازمة لتبخير 2.5 كغم من الماء تحت تأثير الضغط الجوي؟ استخدم جداول بخار الماء.

4.26 If 0.75 kg of water is heated in an electric kettle from 20 to 90°C, how long does the heating process take? The kettle rating is 1 kW, and the heat loses are estimated to be 40% of the power supply.

4.26 اذا سُخن 0.75 كيلوغرام من الماء في غلاية كهربائية من 20 إلى 90 درجة مئوية، فكم من الوقت تستغرق عملية التسخين؟ علماً ان القدرة المجهزة للغلاية تساوي 1 كيلوواط ويضيع 40% من منها بسبب تسرب الحرارة الى المحيط الجوي.

C_{water} = 4.186 kJ/kgK

Ans . 6.1 mins الجواب

4.27 Dry saturated steam is kept in a closed insulated vessel at 2 MPa. If the steam is heated to 300° and 2.5 MPa, use steam tables to determine the specific enthalpy change of the steam.

4.27 يُحفظ بخار الماء المشبع الجاف في وعاء مغلق معزول حرارياً تحت ضغط 2 ميغا باسكال. إذا سُخن البخار إلى 300 درجة مئوية وارتفع الضغط الى 2.5 ميغا باسكال، استخدم جداول بخار الماء لتحديد مقدار التغير في الانثالبي النوعية للبخار.

Energy balances for open systems

موازنة الطاقة للمنظومات المفتوحة

4.28 Dry saturated steam at 100°C is heated to 350°C at constant pressure. If the flow rate of the steam is 1.3 kg/min, calculate the heat required to heat the steam.
(Note: the steam becomes superheated at the final state; steam tables for this type of steam should be used).

4.28 يُسخن بخار الماء المشبع الجاف من 100 درجة مئوية إلى 350 درجة مئوية بضغط ثابت. فإذا كان معدل جريان البخار 1.3 كغم/دقيقة، احسب كمية الحرارة اللازمة لتسخين البخار.

(ملاحظة: يكون البخار محمصاً في حالته النهائية، لذا ينبغي استخدام جداول بخار الماء التي تخص هذا النوع من البخار)

4.29 Air at atmospheric pressure is heated at from 60°F 80°F the rate of 1.5 m^3/s. Calculate the rate of heat supply to the air.

4.29 يُسخن الهواء تحت تأثيرالضغط الجوي من 60 درجة فهرنهايت الى 80 درجة فهرنهايت بمعدل 1.5 متر مكعب/الثانية . احسب معدل تجهيز الحرارة للهواء.

ρ = 1.293 kg/m^3, C_P = 1.005 kJ/kg°C

4.30 Air is compressed from 1 atm to 5 atm by a rotary compressor. The flow rate of air is 0.11 kg/s and temperature of the air at the inlet is 293 K. The amount of heat removed by cooling is 10.5 kJ/kg. Determine the power supplied to the compressor in kW and Horse power (HP)

4.30 يُرفع ضغط الهواء من 1 ضغط جوي إلى 5 ضغط جوي بواسطة الضاغط الدوار، حيث كان معدل جريان الهواء 0.11 كغم/ثانية ودرجة حرارة الهواء في المدخل 293 كيلفن. كما بلغت كمية الحرارة التي يتم ازالتها من الضاغط بواسطة التبريد 10.5 كيلوجول/كغم. اوجد القدرة اللازم تزويدها الى الضاغط بوحدات الكيلواط وكذلك بوحدات القدرة الحصانية (HP).

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(\gamma-1)/\gamma},\ \gamma = 1.4,\ C_p = 1\ kJ/kgK$$

Ans. 19.971 kW, 26.77 HP الجواب

4.31 Superheated steam at 2.5 MP and 300°C is expanded in an insulated turbine at the rate of 3.75 x10^3 kg/h. The steam leaves the turbine as dry saturated at 150°C. Determine the power delivered by the turbine.

4.31 يدخل بخار الماء المحمص الى توربين معزول حرارياً بمعدل (3.75 x10^3 kg/h) عند الضغط 2.5 ميغا باسكال وبدرجة الحرارة 300 درجة مئوية، ويخرج البخار من التوربين مشبعاً جافاً بدرجة 150 درجة مئوية. حدد مقدار القدرة التي يولدها التوربين.

Energy balance for processing equipment

موازنة الطاقة لمعدات التصنيع

4.32 A steam boiler is fed with water at 15°C at the rate of 160 lb_m/min. The boiler pressure is 1.5 MPa, and the steam exits as dry saturated at the same pressure. Determine the heat input to the boiler.

4.32 يدخل الماء الى مرجل بخاري بدرجة حرارة مقدارها 15 درجة مئوية ومعدل جريان (160 lb_m/min)، وكان الضغط في المرجل 1.5 ميغا باسكال. يخرج البخار على هيئة بخار ماء مشبع جاف بنفس الضغط. اوجد معدل امداد االحرارة للمرجل البخاري.

4.33 Air is heated by a furnace from 30°C to 120°C. The flow rate of air is 2400 kmol/min and the heat losses mount to 25% of the heat input to the furnace. Conduct an energy balance on the furnace and calculate the heat input in kW, statiting the asssumptions required.

4.33 يُسخن الهواء بواسطة فرن صناعي من 30 درجة مئوية إلى 120 درجة مئوية. بلغ معدل جريان الهواء (2400 kmol/min)، وكان مقدار فقدان الحرارة يساوي 25% من كمية الحرارة المجهزة للفرن. قم بإجراء موازنة الطاقة للفرن واحسب كمية الحرارة المزودة بوحدات الكيلوواط مع ذكر الافتراضات اللازمة للحسابات.

C_P = 1.005 kJ/kg°C, MW = 29

Ans. 166.307 kW الجواب

4.34 Water at 30°C is heated in an insulated boiler to produce dry saturated steam at 0.6 MPa at the rate of 1.2 kg/s. The water is preheated using a double pipe condenser. Dry saturated steam enters the inner pipe of the condenser at 150°C and exits as saturated water at the rate of 0.0712 kg/s.
Calculate
a- The water temperature at the outlet of the condenser to feed the boiler.
b- The % of thermal energy saved in the boiler at the same pressure after preheating.
c- State the assumptions made to solve the problem.

Note: Use steam tables. The latent heat of condensation of steam = h_{fg} at 150°C

4.34 يُسخن ماء درجة حرارته 30 درجة مئوية في مرجل بخاري معزول حرارياً لإنتاج بخار مشبع جاف بمعدل (1.2 kg/s) بضغط 0.6 ميغا باسكال. تُرفع درجة حرارة الماء قبل دخوله المرجل بواسطة جهاز تكثيف انبوبي (انبوبين متمركزين). يدخل بخار الماء المشبع الجاف الى الانبوب الداخلي بمعدل 0.0712 كغم/ثانية عند 150 درجة مئوية، ويخرج منه كماء مشبع.
احسب
أ- درجة حرارة الماء الذي يخرج من المكثف ويدخل المرجل
ب- نسبة توفير الطاقة الحرارية في االمرجل تحت تأثير نفس الضغط نتيجة تسخين الماء قبل دخوله المرجل.
ج- اذكر الافتراضات التي استخدمتها في حل المسألة.

ملاحظة: استخدم جداول بخار الماء.
الحرارة الكامنة للتكثيف = h_{fg} عند 150 درجة مئوية.

$C_{p(water)}$ = 4.18 kJ/kgK

Ans. a- 55°C, b- 4.724%

4.35 An insulated double pipe heat exchanger is used to heat water from 30°C to 85°C at the rate of 1.05 kg/s. Heating-oil at 190°C enters the annular space and leaves at 155°C. Determine the flow rate of the oil.

4.35 يستخدم مبادل حراري انبوبي (مبادل ذو الانبوبين المتمركزين) معزول حرارياً لتسخين الماء من (30°C) الى (85°C) بمعدل جريان مقداره (1.05 kg/s). يدخل زيت التسخين بين انبوبي المبادل الحراري بدرجة حرارة تساوي (190°C) ويخرج عند (155°C)، احسب معدل جريان الزيت.

$C_{p,water}$ = 4.18 kJ/kg.K , $C_{p,oil}$ = 2.05 kJ/kg.K

4.36 If 19% of the heat from the oil in the above example is lost to the environment, how will the heating oil flow rate change?

4.36 اذا فقد 19% من حرارة الزيت في المثال أعلاه إلى المحيط الجوي، فكيف سيتغير معدل جريان زيت التسخين؟

4.37 Air is heated from 18 to 25 °C by an electric coil fixed inside a heating pipe in a room. The power input to the heating coil is 21 kW. If the heat lost to the surrounding is 255 W, calculate the volumetric flow rate of the air in m^3/min.

4.37 يُسخن الهواء من 18 الى 25 درجة مئوية بواسطة ملف كهربائي مثبت داخل أنبوب تدفئة في غرفة مبنى معين. بلغت القدرة المجهزة لملف التسخين (21 kW). فإذا كان معدل فقدان الحرارة الى المحيط يساوي (255 W), احسب معدل الجريان الحجمي للهواء بالوحدات (m^3/min).

C_p = 1.005 kJ/kg , ρ = 1.2 kg/m^3

Ans. 2.460 m^3/s الجواب

4.38 A stream of water at 30°C is mixed with another stream at 70°C in an insulated mixing chamber. The flow rate of the water in each stream is 1.25 Kg/s and 2.0 kg/s respectively. The water leaving the chamber is evaporated to produce dry saturated steam. Heat losses from the evaporation vessel mounts to 15 kJ/kg. Determine:

a- The enthalpy of the mixed water stream.
b- The temperature of the mixed water stream from the steam tables.
c- The amount of heat required to evaporate the water at the mixed water temperature.

4.38 يُخلط مجرى من الماء درجة حرارته 30 درجة مئوية مع مجرى آخر عند 70 درجة مئوية في وعاء خلط معزول حرارياً. وكان معدل الجريان في في كل مجرى يساوي 1.25 كغم/ثانية و 2.0 كجم/ثانية على التوالي. يتم تبخير الماء الخارج من وعاء الخلط في جهاز للتبخير لانتاج بخارمشبع جاف. فاذا بلغ مقدار فقدان الحرارة من وعاء التبخير 15 كيلوجول/كغم.
اوجد:

أ- إنثالبي الماء في مجرى الماء المختلط.
ب- درجة حرارة الماء المختلط باستخدام جداول بخار الماء.
ج- كمية الحرارة اللازمة لتبخير الماء عند درجة حرارة الماء المختلط.

a- 228.693 kJ/kg, b- 55°C, c- 7724.67kW الجواب

4.39 Use excel to solve the last problem.

4.39 استخدم برنامج الكسيل لحل المسألة السابقة.

4.40 An insulated double pipe condenser is used to condense ethyl alcohol vapour at atmospheric pressure at the rate of 1.21 kg/s. If cooling water enters the inner pipe at 20°C and leaves at 60°C,

a- Find the required data from the ethyl alcohol properties table and from steam tables.
b- Calculate the flow rate of water in the inner tube.

4.40 يُستخدم مكثف ذو انبوبين متمركزين معزول حرارياً لتكثيف بخار الكحول الاثيلي عند الضغط الجوي بمعدل 1.21 كغم/دقيقة. اذا كان ماء التبريد يدخل الانبوب الداخلي عند 20 درجة مئوية ويخرج من منه عند 60 درجة مئوية،

أ- استخرج المعلومات المطلوبة لحل المسألة من جدول خواص الكحول الاثيلي ومن جداول بخار الماء.
ب- احسب معدل جريان الماء في الأنبوب الداخلي.

Mechanical energy balance

موازنة الطاقة الميكانيكية

4.41 Water with density of 1025 kg/m^3 is pumped through a pipe having internal diameter of 0.21 m. The pipe runs for a certain distance and then rises 10 ft above ground level where it is connected to a second pipe of diameter 0.30 m. If the flow rate of the fluid is 220 kg/min, calculate the pressure difference in the system; neglecting friction.

4.41 يُضـــخ ماء كثافته 1025 كغم/ م^3 في انبوب قطره الداخلي 0.21 متر إلى مســـافة معينة ثم يعلو 10 قدم عن مسـتوى سـطح الأرض بحيث يتصـل بانبوب آخر قطره 0.30 متر. فاذا كان معدل الجريان في المنظومة يســـاوي 220 كغم/دقيقة أحسب مقدار فرق الضغط في المنظومة؛ اهمل الاحتكاك.

g = 32.174 ft/s

4.42 Calculate the power required to pump water from a well at the rate of 26 gal/min by a pump through a pipe. The depth of the well is 30 m and the discharge is 0.75 m above ground. Friction loss (E_f) in the system is estimated at 150 J/kg.

4.42 احسب القدرة اللازمة لضخ الماء بواسطة مضخة من بئر عبر أنبوب معين بمعدل 26 غالون/دقيقة. علماً ان عمق البئر 30 متراً وانبوب التصريف يعلو 0.75 متراً عن سطح الأرض، ومقدار الطاقة المفقودة بسبب الاحتكاك (E_f) يساوي 150 جول/ثانية.

$g = 9.81$ m/s, $\rho_{water} = 10^3$ kg/m^3

Ans. 644.718 W الجواب

4.43 A 10-HP pump is used to deliver 50 bbl/min of oil with specific gravity 0.92 to a storage vessel on the top of a hill. The hill makes a slope with ground level at an angle of 30°. Determine the length of the pipeline required to transport the oil.

4.43 تُستخدم مضخة ذات قدرة 10 حصان (10-HP) لتوصيل 50 برميل/دقيقة من سائل نفطي ثقله النوعي 0.92 إلى وعاء تخزين يقع في اعلى التل. يشكل التل منحدراً مع سطح الأرض بزاوية مقدارها (30°). حدد طول الانبوب اللازم لنقل النفط.

$E_f = 120$ J/s, $g = 9.81$ m/s^2, 1 bbl = 195 litres

Ans. 10 m الجواب

4.44 A hydraulic power generation plant consists of a turbine that generates 1.75 MW of power. The water runs through the turbine descending from at 150 m height. The pressure at that height is 255 kPa and at the outlet of the turbine is 128 kPa. Calculate the mass flow rate of the water required to deliver the power. Neglect friction and kinetic energy in the system.

4.44 تتكون محطة انتاج القدرة الهيدروليكية من توربين يولد (1.75 MW) من الطاقة. يتدفق الماء عبر التوربين نازلاً من ارتفاع 150 متراً حيث يبلغ الضغط عند هذا الارتفاع (255 kPa)، وفي نقطة خروج الماء من التوربين (128 kPa). احسب معدل جريان الماء الكتلي اللازم لتوليد الطاقة المذكورة. اهمل الاحتكاك والطاقة الحركية في المنظومة.

$g = 9.81$ m/s, $\rho_{water} = 10^3$ kg/m^3

4.45 Use excel to solve problem 4.44 including friction loss of 100 J/s.

4.45 استخدم برنامج الاكسيل لحل المسألة 4.44 بشمول مفقودات الاحتكاك التي تساوي (100 J/s).

Chapter 5 **الفصل الخامس**

Energy Balance for Reactors موازنة الطاقة للمفاعلات الكيميائية

In Chapter Five, we cover the energy balance for chemical reaction systems. Thermal energies associated with chemical reaction, including the heat of reaction, heat of formation and heat of combustion are first discussed. We also look into the various changes in enthalpies at standard conditions. Next, we explain how Hess's law applies to chemical and combustion reactions. We then formulate energy balance equations for chemical reactors and adiabatic reactors. We solve examples related to sensible heat exchange in a reactors, and calculate the adiabatic temperature. Finally, we conduct energy balance for combustion systems and, and show how to determine the flame temperature.

نتناول في الفصل الخامس موازنة الطاقة لمنظومات التفاعل الكيميائي. نناقش اولاً انواع الطاقة الحرارية المرتبطة بالتفاعلات الكيميائية، بما في ذلك حرارة التفاعل وحرارة التكوين وحرارة الاحتراق. كما ننظر في التغيرات المختلفة للانثالبي في الظروف القياسية. بعد ذلك، نشرح كيف نطبق قانون هيس على التفاعلات الكيميائية وتفاعلات الاحتراق. ثم نقوم بصياغة معادلات توازن الطاقة للمفاعلات الكيميائية والمفاعلات الأدياباتية، ونحل عدداً من الأمثلة المتعلقة بالتبادل الحراري المحسوس في المفاعلات وتحديد درجة الحرارة الأدياباتية. وأخيراً، نقوم بإجراء موازنة الطاقة لأنظمة الاحتراق، ونوضح كيفية تقدير درجة حرارة اللهب.

5.1 Learning Objectives of Chapter 5

- Define heat of reaction and standard heat of reaction and introduce exothermic and endothermic reactions
- Introduce heat of formation and standard heat of formation and explain their relationship to heat of reaction
- Apply Hess′s law to chemical reactions
- Calculate the standard heat of combustion
- Explain the meaning of sensible heat and provide relations to estimate specific heat capacity
- Estimate the enthalpy change due to sensible heat exchange in a reactors
- Conduct energy balance for chemical reactors
- Express energy balance equations or adiabatic reactors and estimate the product adiabatic temperature
- Perform energy balance for combustion systems and calculate flame temperature

5.1 اهداف دراسة الفصل الخامس

- تعريف حرارة التفاعل وحرارة التفاعل القياسية والتعرف على التفاعلات باعثة الحرارة والتفاعلات ماصة الحرارة
- التعرف على حرارة التكوين وحرارة التكوين القياسية وتوضيح علاقتهما بحرارة التفاعل
- تطبيق قانون هَس على التفاعلات الكيميائية
- كيفية حساب حرارة الاحتراق القياسية
- توضيح معنى الحرارة المحسوسة وصياغة معادلات لتقدير السعة الحرارية النوعية
- تقدير التغير في الانثالبي الناجم عن تبادل الحرارة المحسوسة في المفاعلات
- اجراء موازنة الطاقة للمفاعلات الكيميائية
- صياغة معادلات موازنة الطاقة للمفاعلات الاديباتية وتقدير درجة حرار المنتجات الاديباتية
- اجراء موازنة الطاقة لمنظومات الاحتراق وحساب درجة حرارة اللهب

5.1 Heat of Reaction

Chemical reactions are accompanied by a process of breaking up of **bonds** that hold the atoms of the reactant molecules together. Naturally, new bonds are formed between the product atoms. An amount of energy is required to break bonds, and certain amount is released as a result of creating new bonds. If the creation of new bonds releases more energy than required for reaction, the excess energy is released as heat and the reaction is called an **exothermic reaction**. On the other hand, if the reaction requires the addition of thermal energy, it is called an **endothermic reaction**. The heat release or gain results in enthalpy changes that may affect the design of the chemical reactor. In fact, cooling or heating loads of a reactor must be specified carefully to ensure that the rate of the reaction is not influenced.

The **heat of reaction** is defined as *the amount of thermal energy released or added as a result of a chemical reaction.* More precisely, it is the enthalpy change due to complete reaction of materials fed to the reactor in **stoichiometric proportions**, provided that the reaction is takes place at constant temperature and pressure. The heat of reaction is denoted (ΔHr) in kJ. In other words, it is equal to the difference between the enthalpy of the products and reactants at constant temperature and pressure. Since there is no work done during the chemical reaction, the change in internal energy of a chemical reaction equals the change in enthalpy.

The **standard heat of reaction** in kJ for based on 1 gmol of a reactant is defined *as the heat of reaction at standard temperature (25°C) and pressure (1 atm)*. The standard heat of reaction ($\Delta\breve{H}^o r$) is positive for endothermic reactions and negative for exothermic reactions.

5.1 حرارة التفاعل

يصاحب التفاعلات الكيميائية عملية تكسير**الاواصر** التي تحافظ على تماسك ذرات الجزيئات المتفاعلة. وبطبيعة الحال، تتشكل اواصر جديدة بين ذرات المُنتجات التي تتولد بعد التفاعل. ويتطلب كسر الاواصر تزويد كمية معينة من الطاقة، بينما تُطلق كمية من الطاقة عند استحداث الاواصر. واذا أدى استحداث الاواصر إلى إطلاق طاقة أكثر من متطلبات التفاعل فستتحرر الطاقة الفائضة على شكل حرارة، ويسمى هذا التفاعل **تفاعلاً طارداً للحرارة**. من ناحية أخرى، إذا كان التفاعل يتطلب إضافة الطاقة الحرارية، فإنه يسمى **تفاعل ماص للحرارة**. يؤدي إطلاق الحرارة أو اكتسابها إلى تغيرات في الانثالبي التي قد تؤثر على تصميم المفاعلات الكيميائية. وفي واقع الحال، يجب تحديد أحمال التبريد أو التسخين للمفاعل بعناية لضمان عدم تأثيرها على سرعة التفاعل الكيميائي داخل المفاعل.

يمكن تعريف **حرارة التفاعل** على انها *كمية الطاقة الحرارية المنبعثة او المكتسبة بسبب التفاعل الكيميائي.* وبتعبير أدق، هي مقدار التغير في الانثلبي الناجم عن التفاعل التام للمواد المتفاعلة التي تدخل المفاعل **بنسب متكافئة**، شريطة ان يتم التفاعل عند درجة حرارة وضغط ثابتين. يُرمز الى حرارة التفاعل (ΔHr) بوحدات الكيلوجول ، اي انها تساوي الفرق بين انثالبي منتجات التفاعل واثالبي المواد المتفاعلة عند درجة حرارة وضغط ثابتين. ونظراً لعدم انجاز اي شغل أثناء التفاعل الكيميائي، فإن التغير في الطاقة الداخلية للتفاعل الكيميائي يساوي التغير في الانثالبي.

ويمكن تعريف **حرارة التفاعل القياسية** *على انها حرارة التفاعل عند درجة الحرارة القياسية (25°C) والضغط القياسي (1 atm)*. وتتخذ حرارة التفاعل القياسية الرمز (ΔH°r) بوحدات الكيلوجول على اساس 1 غرام مول من احد المواد المتفاعلة، ولها قيمة موجبة للتفاعلات ممتصة الحرارة وسالبة للتفاعلات باعثة الحرارة.

5.2 Heat of Formation

To estimate the value of heat of reaction, we need to know the values of **heat of formation** ($\Delta\breve{H}_f$), which *is the change in enthalpy during the formation of one mole of a compound in the chemical reaction*. The **standard heat of formation** ($\Delta\breve{H}^o_f$) in kJ/gmol is the heat of reaction specified at the standard conditions of 25°C and 1 atm. The standard heat of reaction is therefore equal to the *algebraic sum of the standard heat of formation of the products minus the algebraic sum of the standard heat of formation of the reactants*,

5.2 حرارة التكوين

نحتاج إلى معرفة قيم **حرارة التكوين** ($\Delta\breve{H}_f$) لكي نستطيع تقدير قيم حرارة التفاعل، وحرارة التكوين هي *التغير الحاصل في الانثالبي أثناء تكوين مول واحد من مركب معين للتفاعل الكيميائي*. وتُعرّف **حرارة التكوين القياسية** ($\Delta\breve{H}^o_f$) بوحدات (kJ/gmol) على انها حراروة التكوين في الظروف القياسية، اي 25 درجة مئوية (25°C) و1 ضغط جوي (1 atm). وان حرارة التفاعل القياسية *تساوي المجموع الجبري لحرارة التكوين القياسية للمنتجات مطروحاً منها المجموع الجبري لحرارة التكوين القياسية للمواد المتفاعلة*،

$$\Delta H^o r = \sum^{products} v_i (\Delta\breve{H}^o_f)_i - \sum^{reactants} (|v_i| ((\Delta\breve{H}^o_f)_i \quad \text{(kJ based on 1 gmol)} \qquad (5.1)$$

$|v_i|$ = absolute value of the **stoichiometric coefficient** of species i.

$|v_i|$ = القيمة المطلقة **لمعامل التكافؤ** لاي عنصر من عناصر التفاعل (i)، اي بدون اشارة السالب.

Example 5.1

Calculate the standard heat of reaction for the reaction of ammonia with hydrogen chloride to form solid ammonium chloride according to the following equation

المثال 5.1

احسب حرارة التفاعل القياسية لتفاعل الأمونيا مع كلوريد الهايدروجين لتكوين كلوريد الأمونيوم الصلب حسب المعادلة التالية

$$HCl\ (g) + NH_3\ (g) \rightarrow NH_4Cl\ (s)$$

Data:

المعلومات:

Component	$\Delta\breve{H}^o_f$ kJ/gmol
HCl (g)	- 92.05
NH_3 (g)	- 46
NH_4Cl (s)	-315.4

1 mole = 1 gram mole (gmol)

1 مول = 1 غرام مول (gmol)

Solution

الحل

The chemical reaction equation is balanced.

معادلة التفاعل الكيميائي هي معادلة متوازنة.

Basis: 1 gmol of NH_4Cl

الاساس للحسابات: 1 غرام مول من (NH_4Cl)

$\Delta H^o r = \sum^{products} \nu_i (\Delta \breve{H}^o_f)_i - \sum^{reactants} |\nu_i| ((\Delta \breve{H}^o_f)_i$ (kJ) (Eqn. 5.1)

$\Delta H^o r = [1 \times (-315.4)] - [1 \times (-92.05) + 1 \times (-46)]$

$\Delta H^o r =$ -177.35 kJ for 1 gmol of NH_4Cl

Comments

الملاحظات

1. The negative sign of the standard heat of reaction indicates that the reaction is exothermic.
2. All the stoichiometric coefficients are equal to 1 according to the balanced reaction equation.
3. The enthalpy change ΔH in kJ for an incomplete reaction of i at temperature T_o and pressure P_0 (usually 25°C and 1 atm) is calculated by the following equation

1. تشير العلامة السلبية لحرارة التفاعل القياسية إلى أن التفاعل هو تفاعل طارد للحرارة.
2. أن جميع معاملات التكافؤ تساوي 1 حسب معادلة التفاعل المتوازنة.
3. يُحسب التغير في الانثالبي (ΔH) بوحدات (kJ) لتفاعل احد العناصر (i) غير التام عند درجة حرارة (T_o) وضغط (P_0) (عادة 25 درجة مئوية والضغط الجوي) بواسطة المعادلة التالية

$$\Delta H\ (kJ) = \frac{\Delta H_r\ (kJ)}{\nu_i\ (moles)} (n_{i,in} - n_{i,out})\ (moles) = \zeta\ \Delta H_r \quad \text{at } (T_o, P_o) \qquad (5.2)$$

Extent of reaction $\zeta = \frac{n_{i,in} - n_{i,out}}{\nu_i}$ (actual moles of i reacted/ stoichiometric moles of i)

Exercise

تمرين

Calculate the standard heat of reaction when ammonia is dissolved in water to produce ammonium hydroxide. Find the required standard heats of formation from the Internet or relevant sources. Calculate also the change in enthalpy for the reaction.

احسب حرارة التفاعل القياسية عند إذابة الأمونيا في الماء لإنتاج هيدروكسيد الأمونيوم. ابحث عن قيم حرارة التكوين القياسية المطلوبة من الإنترنت او المصادر ذات الصبة. احسب أيضًا التغير في الانثالبي للتفاعل الكيميائي.

$$NH_3\ (g) + H_2O\ (l) \rightarrow NH_4OH\ (l)$$

Example 5.2

المثال 5.2

Calculate the standard heat of reaction for the formation of 200 gmol of acetylene according to the following reaction:

احسب حرارة التفاعل القياسية لتكوين 200 غرام مول (200 gmol) من الأسيتيلين وفقا للتفاعل التالي:

Solution

الحل

$$CaC_2\ (s) + 2H_2O\ (l) \rightarrow Ca(OH)_2\ (s) + C_2H_2\ (g)$$

Basis: 1 gmol of CaC_2

الاساس للحسابات: 1 غرام مول من (CaC_2)

The final answer for 200 gmol of acetylene

تتحقق الإجابة النهائية لـ 200 غرام ومول من الأسيتيلين

Is achieved by multiplying the standard heat of reaction for 1 mole by 200.

عن طريق ضرب حرارة التفاعل القياسية للمول الواحد بالرقم 200.

1 mole = gmol

Data from the Internet:

المعلومات من الانترنت:

Component	$\Delta\breve{H}^o_f$ kJ/gmol
CaC_2 (s)	- 63
H_2O (l)	-285.8
$Ca(OH)_2$ (s)	-985.2
C_2H_2 (g)	+224

$$\Delta H^o r = \sum^{products} v_i (\Delta\breve{H}^o_f)_i - \sum^{reactants} (|v_i|) (\Delta\breve{H}^o_f)_i \quad (kJ) \quad (Eqn.\ 5.1)$$

For 1 gmol of CaC_2:

$\Delta H^o r$ = [1x (-985.2) + 1x (224)] – [1 x (- 63) + 2 x (-285.8)]

$\Delta H^o r$ = -126.6 kJ for 1 gmol of CaC_2

200 gmols of CaC_2 → 200 gmols of C_2H_2

$\Delta H^o r$ for 200 gmol C_2H_2 = -126.6 x 200 = 25,320 kJ = 25.32 MJ for 200 gmols

Comments

الملاحظات

The heat of reaction is expressed in kJ for 1 gmol of a reactant according to stoichiometry, and in kJ for actual number of moles.

تتخذ حرارة التفاعل القياسية وحدات كيلوجول لكل 1غرام مول من احد المواد المتفاعلة وفقاً لمبدأ تكافؤ العناصر، وتتخذ وحدات الكيلوجول (kJ) للعدد الفعلي من المولات.

5.3 Hess's Law

5.3 قانون هَس

Hess' law states that *the change in enthalpy of a chemical reaction is the same whether the reaction is completed in one step or in a series of steps.* The law applies to heats of reaction, thus the standard heat of reaction to produce a species is equal to the algebraic sum of the heat of reactions for all steps required to obtain the same product indirectly. For example, the formation of carbon monoxide by the oxidation of carbon takes place according to:

ينص **قانون هَس** *على أن مقدار التغير في الانثالبي للتفاعل الكيميائي هو نفسه سواء اكتمل التفاعل في خطوة واحدة أو في سلسلة من الخطوات*. ينطبق القانون على حرارة التفاعل، وعليه فإن حرارة التفاعل القياسية لإنتاج مادة ما تساوي المجموع الجبري لحرارة التفاعل لجميع الخطوات المطلوبة للحصول على نفس المُنتج بشكل غير مباشر. على سبيل المثال، تكوين اول أكسيد الكربون عن طريق أكسدة الكربون حسب المعادلة:

1. $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO \qquad (\Delta H^o r)_1$

There are the also CO formation reactions:

وهناك ايضاً التفاعلات لتكون اول اوكسيد الكاربون:

$$2.\quad C + O_2 \rightarrow CO_2 \qquad (\Delta H^o r)_2$$

$$3.\quad CO + \frac{1}{2}\,O \rightarrow CO_2 \qquad (\Delta H^o r)_3$$

CO is obtained indirectly from reaction 2 and the reverse of reaction 3. According to Hess's law:

نحصل على اول اوكسيد الكاربون بشكل غير مباشر من خلال التفاعلين 2 و عكس التفاعل 3، ووفقاً لقانون هَس:

$$(\Delta H^o r)_1 = (\Delta H^o r)_2 + (-\,(\Delta H^o r)_2) \qquad (5.3)$$

5.4 Standard Heat of Combustion

5.4 حرارة الاحتراق القياسية

The **standard heat of combustion** ($\Delta\breve{H}^o_c$) is *the heat release when 1 mole of a substance is burned completely in oxygen at 25°C and 1 atm*. It is denoted ΔH^o_c and always has a negative value in kJ/gmol. Standard heats of combustion for various substances are available in literature in a tabular form.

The standard heat of reaction for combustible materials can be evaluated by subtracting the sum of the standard heat of combustion values of the products from values of reactants. This because, according to Hess's law, the combustion of reactants is positive and the reverse combustion of the products negative.

حرارة الاحتراق القياسية *هي الحرارة المنبعثة نتيجة احتراق 1 مول من المادة في الأوكسجين احتراقاً كاملاً عند 25 درجة مئوية تحت تأثير الضغط الجوي*. يُشار إليها بـالرمز (ΔH^o_c) وتتخذ دائماً قيماً سالبة بوحدات (kJ/gmol). تتوفر قيم حرارة الاحتراق القياسية في المصادر ذات الصلة على هيئة جداول تعنى بمختلف المواد الكيميائية.

يمكن تقييم الحرارة القياسية للتفاعل للمواد القابلة للاحتراق عن طريق طرح مجموع قيم حرارة الاحتراق القياسية للمنتجات من مجموع قيم حرارة المتفاعلات. وذلك لأنه وفقًا لقانون هيس، فإن احتراق المتفاعلات يكون موجبًا والاحتراق العكسي للمنتجات يكون سالباً.

$$\Delta H^o r = -\sum v_i\,(\Delta\breve{H}^o_c)_i$$

$$\Delta H^o r = -\sum v_i\,(\Delta\breve{H}^o_c)_i = [\sum^{reactants} |v_i|\,((\Delta\breve{H}^o_c)_i] - [\sum^{products} v_i\,(\Delta\breve{H}^o_c)_i] \quad (kJ) \qquad (5.4)$$

Example 5.3

المثال 5.3

Calculate the standard heat of reaction for the formation of n-propyl alcohol according to

احسب حرارة التفاعل القياسية لتكوين الكحول (n-propyl) وفقا للمعادلة

$$3C\,(s) + 4H_2(g) + \frac{1}{2}\,O_2\,(g) \rightarrow C_3H_7OH\,(l)$$

Use the following combustion equations:

استخدم معادلات الاحتراق التالية:

$$C\,(s) + O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) \qquad (\Delta\breve{H}^o_c)_1 = -393.2\ kJ/gmol$$

$$2H_2\,(g) + O_2\,(g) \rightarrow 2H_2O\,(l) \qquad (\Delta\breve{H}^o_c)_2 = -285.6\ kJ/gmol$$

$$C_3H_7OH\,(l) + 4.5\,O_2\,(g) \rightarrow 3CO_2\,(g) + 4H_2O\,(l) \qquad (\Delta\breve{H}^o_c)_3 = -\,2026.7\ kJ/gmol$$

Solution

الحل

<u>Basis:</u> 1 gmol of n-Propyl alcohol

<u>الاساس للحسابات:</u> 1 غرام مول من الكحول

$$\Delta H^o r = - \sum v_i (\Delta \breve{H}^o_c)_i = [\sum^{reactants} (|v_i| ((\Delta \breve{H}^o_c)_i] - [\sum^{products} v_i (\Delta \breve{H}^o_c)_i] \qquad \text{(Eqn. 5.4)}$$

$$\Delta H^o r = [3 \times (-393.2) + 4 \times (-285.6)] - [(1 \times (-2026.7)]$$

$\Delta H^o r$ = <u>-295.3 kJ/gmol of n-Propyl alcohol</u>

Comments

الملاحظات

1. The heat of reaction is determined by the summation of standard heats of combustion according to Hess's law.
2. The standard heat of combustion for any of the combustion products (H_20 or O_2) is zero.

1. تم تقييم حرارة التفاعل القياسية للكحول بجمع قيم حراراة الاحتراق القياسية وفقاً لقانون هَس.
2. قيمة حرارة الاحتراق القياسية لاي من منتجات الاحتراق مثل الاوكسيجين اوالماء هي صفر.

5.5 Sensible Heat

5.5 الحرارة المحسوسة

We already know that latent heat is the amount of heat required for phase change of a substance. **Sensible heat** is defined as *the heat that causes rise or fall of temperature of the substance.* For example, heating water at 25°C and 1 atm causes the temperature to rise, at 100°C the water begins to boil and evaporates. The evaporation process continue at 100° until all the water has changed phase to vapour. The total heat supplied to water in this process is made up of two quantities, the first one is consumed to heat the water from 25°C to 100°C, which is known as sensible heat. The second quantity is the latent heat which is consumed to evaporate the water, or for phase change from liquid to vapour. As mentioned earlier, the values of latent heat for many substances are available in property tables.

نعلم أن الحرارة الكامنة هي كمية الحرارة اللازمة لتغيير طور المادة، بينما تُعرّف **الحرارة المحسوسة** على انها *الحرارة التي تسبب ارتفاع أو انخفاض درجة حرارة المادة*. على سبيل المثال، يؤدي تسخين الماء عند 25 درجة مئوية إلى ارتفاع درجة حرارته، وعند بلوغها 100 درجة مئوية يبدأ الماء بالغليان والتبخر. تستمر عملية التبخر بثبوت درجة حرارة عند 100 درجة مئوية حتى تتحول كتلة الماء السائل باكملها إلى بخار. وتشمل الحرارة الإجمالية المزودة للماء في هذه العملية كميتين، الأولى تُسمى الحرارة المحسوسة التي تُستهلك لتسخينه من 25 لى 100 درجة مئوية، والكمية الثانية هي الحرارة الكامنة التي تُستهلك لتبخير الماء أو لتحويله من الطور السائل إلى طور البخار. تتوفر قيم الحرارة الكامنة في جداول الخواص للعديد من المواد كما اشرنا سابقاً.

Sensible heat causes change in enthalpy ($\Delta H_{sensible}$) which is normally calculated using the following equations

يسبب اكتساب او فقدان الحرارة المحسوسة تغيراً في الانثالبي ($\Delta H_{sensible}$) الذي يمكن حسابه باستخدام المعادلات التالية

$$(\Delta H_{sensible} = m \times C_P \times \Delta T \qquad (kJ) \qquad (5.5)$$

$$\Delta \dot{H}_{sensible} = \dot{m} \times C_P \times \Delta T \qquad (kJ/s) \qquad (5.6)$$

In equations 5.5 and 5.6, the specific heat capacity Cp is in kJ/kgK or kJ/kg°C and the mass flow rate is in kg/s. However, chemical reactions are expressed in terms of moles, so the units of flow rates through reactors should be changed change to gmol/s or kmols/s. The values of C_p for chemical compounds in property tables are expressed in kJ/gmol.°C or kJ/gmol.K, thus the sensible heat equation for steady state operation of a chemical reactor is expressed as

نلاحظ في المعادلتين (5.5) و (5.6) أن السعة الحرارية النوعية (C_P) تتخذ وحدات (kJ/kgK) او (kJ/kg°C)، ويتخذ معدل الجريان الكتلي وحدات كغم/ثانية (kg/s). لكن معادلات التفاعل الكيميائي تُكتب عادة بدلالة عدد المولات، لذا يجب تغير وحدات معدل الجريان خلال المفاعلات الكيميائية الى (gmol/s) أو (kmols/s). ولما كانت قيم (C_p) للمركبات الكيميائية في جداول الخواص تحمل الوحدات (kJ/gmol.°C) أو (kJ/gmol.K)، لذا تُكتب معادلة الحرارة المحسوسة لتشغيل المفاعل الكيميائي المستقر بالصيغة التالية

$$\Delta\dot{H}_{sensible} = \dot{n} \times C_{P(molar)} \times \Delta T \qquad (kJ/s) \qquad (5.7)$$

The **molar flow rate** $\dot{n}$ is expressed in gmol/s. We know that,

حيث ان **معدل الجريان المولي** ($\dot{n}$) له الوحدات (gmol/s). والمعلوم ان،

$$\Delta T \text{ in K} = \Delta T \text{ in °C} \quad , \quad (1 \text{ gmol} = 1 \text{ mole})$$

Therefore, the value of (C_P) is the same regardless whether ΔT is measured in K or °C.

The specific heat capacity may vary with temperature, this is certainly the case for ideal gases, and in this case equation 5.7 should be expressed for component i in an integral form,

بناء على ذلك، تتساوى قيمة (C_P) بغض النظر عما اذا كانت وحدات (ΔT) بالكيلفن او الدرجات المئوية.

قد تتغير قيمة السعة الحرارية النوعية تبعاً لتغير درجة الحرارة، وهذا بالتأكيد هو الحال بالنسبة للغازات، ففي هذه الحالة يجب أن تُكتب المعادلة (5.7) لاحد العناصر (i) بالصيغة التكاملية،

$$\Delta\dot{H}_{i,sensible} = \dot{n}_i \int_1^2 C_{p,i\,(molar)}(T) \times dT \qquad (kJ/s) \qquad (5.8)$$

C_p is replaced by an equation of the form,

وتستبدل (C_p) بصيغة المعادلة التالية،

$$C_{p,i\,(molar)} = a + b\,.T + c\,.\,T^{-2} + \qquad (5.9)$$

The values of constants a, b and c and others are listed in property tables for chemical compounds.

The units of **molar specific capacity heat capacity** $C_{p,i,(molar)}$ are kJ/gmol.K or kJ/gmol.°C according to the temperature units in equation 5.7. The units are usually given in the tables for physical properties of chemical elements and compounds.

تُدرج قيم الثوابت (a) و (b) , (c) وغيرها في جداول الخواص للمركبات الكيميائية.

تتخذ **السعة الحرارية النوعية المولية** ($C_{p,I\ (molar)}$) الوحدات (kJ/gmol.K) او (kJ/gmol.°C) وفقاً لوحدات درجة الحرارة المثبتة في المعادلة (5.7). وتُثبت عادة الوحدات في جداول الخواص الفيزيائية للعناصر والمركبات الكيميائية.

The enthalpy change is calculated by substituting $C_{Pi\ (molar)}$ in equation 5.8 using equation 5.9 and integrating as follows

يُحسب مقدار التغير في الانثالبي بالتعويض عن ($C_{P,I\ (molar)}$) في المعادلة (5.8) باستخدام المعادلة (5.9) وتُنجزعملية التكامل على النحو التالي

$$\Delta \breve{H}_{i,sensible} = \int_1^2 (a + b.T + c.T^{-2}) \times dT \qquad \text{(kJ/kmol)}$$

Simplifying by neglecting the term $(c.T^{-2})$ نبسط المعادلة باهمال الحد

$$\Delta \breve{H}_{i,sensible} = [a\,(T_2 - T_1) + b\,\frac{T_2^2 - T_1^2}{2}] \qquad \text{(kJ/kmol)}$$

$$\Delta \dot{H}_{i,sensible} = \dot{n}_i [a\,(T_2 - T_1) + b\,\frac{T_2^2 - T_1^2}{2}] \qquad \text{(kJ/s)} \qquad (5.10)$$

Example 5.4

المثال 5.4

Calculate the rate of enthalpy change caused by heating 10 gmol/s of oxygen from 30^{0}C to 250^{o}C, given:

احسب معدل التغير في الانثالبي الناجم عن تسخين الأوكسجين بمعدل (10 gmol/s) من 30 درجة مئوية إلى 250 درجة مؤية المعلوم:

$C_{p\,(O_2)}$ in (kJ/gmol.^{o}C) = 29 x 10^{-3} + 1.158 x 10^{-5} T (simplified equation)

Solution

الحل

$$\Delta \dot{H}_{i,sensible} = \dot{n}_i\ [a\,(T_2 - T_1) + b\,\frac{T_2^2 - T_1^2}{2}] \qquad \text{(kJ/s)} \qquad \text{(Eqn. 5.10)}$$

$$\Delta \dot{H}_{i,sensible} = 10\ [29 \times 10^{-3}\ (250 - 30) + 1.158 \times 10^{-5}\ \frac{250^2 - 30^2}{2}]$$

$\Delta \dot{H}_{i,sensible}$ = 10 [6.38 + 0.3566] = 67.366 kJ/s = <u>67.366 kW</u>

Exercise

تمرين

Calculate the rate of enthalpy change caused by heating nitrogen from 35^{0}C to 220^{o}C at the rate of 0.102 g/s. Find the constant values for equation 5.10 in physical properties tables from relevant sources.

احسب معدل التغير في الانثالبي الناتج عن تسخين غاز النايتروجين بمعدل (0.102 g/s من 35 درجة مئوية إلى 220 درجة مئوية). ابحث عن قيم ثوابت المعادلة (5.10) في جداول الخواص الفيزيائية من المصادر ذات الصلة.

$MW_{N2} = 28$

5.6 Balance for a Chemical Reactor

5.6 موازنة الطاقة للمفاعل الكيميائي

Industrial chemical reactors may involve one reaction or a number of reactions. The energy balance for multiple reactions is based on heat of formation rather than heat of reaction. We focus here on the single reaction-reactor. In this case, the balance is accomplished using known values of heat of reaction plus sensible heat for reactants and products. The steps of the method are summarised as follows:

قد تتضمن المفاعلات الكيميائية الصناعية تفاعلاً كيميائياً واحداً او عدداً من التفاعلات. وتعتمد موازنة الطاقة للتفاعلات المتعددة حرارة التكوين بدلاً من حرارة التفاعل. سنركز هنا على المفاعل احادي التفاعل ، وفي هذه الحالة يمكن تحقيق موازنة الطاقة باستخدام القيم المعلومة لحرارة التفاعل زائداً قيم الحرارة المحسوسة لمتفاعلات ومنتجات التفاعل. تتلخص خطوات الطريقة على النحو التالي:

1. Perform material balance across the reactor to specify the flow rates.
2. Adopt the standard condition for specific heat enthalpy data such as heat of reaction.
3. Determine the value of extent of reaction ζ to balance the flow rates according to stoichiometry for incomplete conversion.
4. Set up a table for flow rates and enthalpies for all components:

1. إجراء موازنة المادة عبر المفاعل لتحديد قيم معدلات الجريان.
2. اعتماد الحالة القياسية للمعلومات المتعلقة بقيم الانثالبي النوعية كحرارة التفاعل.
3. تحديد قيمة مدى تقدم التفاعل (ζ) للتحويل غير التام وذلك لغرض موازنة معدلات الجريان وفقاً لتكافؤ العناصر في التفاعل الكيميائي.
4. إعداد جدول يتضمن قيم معدل الجريان والانثالبي لجميع المكونات:

Component	$\dot{n}_{in,i}$ (gmol/s)	$\dot{H}_{in,i}$ (kJ/s)	$\dot{n}_{out,i}$ (gmol/s)	$\dot{H}_{out,i}$ (kJ/s)
Component 1	$\dot{n}_{in,1}$	$\dot{H}_{in,1}$	$\dot{n}_{out,1}$	$\dot{H}_{out,1}$
Component 2	$\dot{n}_{in,2}$	$\dot{H}_{in,2}$	$\dot{n}_{out,2}$	$\dot{H}_{out,2}$
Component i	$\dot{n}_{in,i}$	$\dot{H}_{in,i}$	$\dot{n}_{out,i}$	$\dot{H}_{out,i}$

5. Determine of the unknown enthalpy values.
6. Calculate the rate of change of enthalpy across the reactor $\Delta\dot{H}$ from the following relations

5. تحديد قيم الانثالبي المجهولة.
6. حساب معدل التغير في الانثالبي ($\Delta\dot{H}$) عبر المفاعل وفقاً للعلاقات التالية

For complete conversion: $\Delta\dot{H} = (\dot{n}_{i,in})\,(\Delta\dot{H}^{o}_{r}/\dot{\nu}_{i}) + \Delta\dot{H}_{sensible}$ (kJ/s) (5.11)

For incomplete conversion: $\Delta\dot{H} = (\dot{n}_{i,in} - (\dot{n}_{i,out})\,(\Delta\dot{H}^{o}_{r}/\dot{\nu}_{i}) + \Delta\dot{H}_{sensible}$ (kJ/s)

$$\Delta\dot{H} = \zeta\,\Delta\dot{H}^{o}_{r} + (\sum \dot{H}_{i,out} - \sum\dot{H}_{i,in}) \quad , \quad (\zeta = \dot{n}_{i,in} - \dot{n}_{i,out})/\dot{\nu}_{i}) \qquad (5.12)$$

Where:

$\Delta\dot{H}_{sensible}$= Rate of enthalpy due to sensible heat in rector $((\sum \dot{H}_{i,out} - \sum\dot{H}_{i,in})$

$\Delta\dot{H}$ = Rate of change of enthalpy across reactor $(\dot{H}_{i} = \dot{n}_{i}\,.\,\breve{H}_{i})$, $\breve{H}$ = Specific enthalpy

$\Delta\dot{H}^{o}_{r}$ = Standard heat of reaction based on 1 gmol/s

حيث ان:

$\Delta\dot{H}_{sensible}$ = معدل التغير بانثالبي الحرارة المحسوسة في للمفاعل $((\sum \dot{H}_{i,out} - \sum\dot{H}_{i,in})$

$\Delta\dot{H}$ = معدل التغير بالانثالبي عبر المفاعل $(\dot{H}_{i} = \dot{n}_{i}\,.\,\breve{H}_{i})$ ، $\breve{H}$ = الانثالبي النوعية

$\Delta\dot{H}^{o}_{r}$ = حرارة التفاعل القياسية استناداً الى (1 gmol/s)

$\dot{n}_{i,out}$= Molar flow rate of component leaving the rector.
$\dot{H}_i$ = Enthalpy per unit time for component i
$\dot{n}_{i,in}$ = Molar flow rate of a component entering rector
ζ = Extent of reaction based on flow rates

$\dot{n}_{out,i}$ = معدل الجريان المولي للمكون الذي يخرج من المفاعل
$\dot{H}_i$ = الانثالبي لكل وحدة زمن بالوحدات (kJ/s)
$\dot{n}_{in,i}$ = معدل الجريان المولي للمكون الذي يدخل الى المفاعل
ζ = مدى تقدم التفاعل استناداً الى معدلات الجريان

7. Perform energy balance for open system.

7. إجراء موازنة الطاقة للمنظومة المفتوحة.

Example 5.5

المثال 5.5

Calculate the rate of heat transferred to cool the reactor and keep the products at 200°C. That is for the complete conversion of butane (n-C_4h_{10}) gas at a rate of 200 gmol/s under standard conditions. The proposed reaction equation is

احسب معدل انتقال الحرارة اللازم لتبريد المفاعل وابقاء درجة حرارة النواتج عند 200 درجة مئوية. وذلك للتحويل الكامل لغاز البيوتان (n-C_4h_{10}) بمعدل (200 gmol/s) في الظروف القياسية. معادلة التفاعل المقترحة هي

$$C_4H_{10}\,(g) \rightarrow C_2H_4\,(g) + C_2H_6\,(g)$$

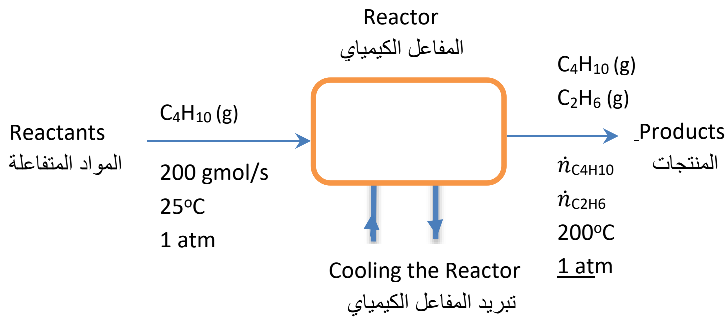
Standard enthalpies of combustion:

قيم انثالبي الاحتراق القياسية:

Component	ΔH^o_c (kJ/gmol)
C_4H_{10} (g)	- 2871.5
C_2H_4 (g)	- 1410.8
C_2H_6 (g)	- 1559.9

The flowchart:

مخطط البيانات الانسيابي:



Solution

الحل

Basis: 200 gmol/s of C_4H_{10} (g)

الاساس للحسابات: (200 gmol/s) من (C_4H_{10} (g))

Material balance **موازنة المادة**

1 gmol of C_4H_{10} (g) →1 gmol of + 1 gmol of C_2H_6 (g). Therefore,

$\dot{n}_{C4H10}$ = 1 x 200 = 200 gmol/s

$\dot{n}_{C2H6}$ = 1 x 200 = 200 gmol/s

Extent of reaction **مدى تقدم التفاعل**

For complete conversion, we apply eqn. 5.11

Reference standard conditions **الظروف المرجعية القياسية**

25°C and 1 atm

Table for data **جدول المعلومات**

Component	$\dot{n}_{in,i}$ (gmol/s)	$\dot{H}_{In,I}$ kJ/s	$\dot{n}_{out,i}$ (gmol/s)	$\dot{H}_{out,I}$ (kJ/s)
C_4H_{10} (g)	200	$\dot{H}_{in,1}$	0.00	0.00
C_2H_4 (g)	200	$\dot{H}_{in,2}$	$\dot{n}_{2,out,}$	$\dot{H}_{out,2}$
C_2H_6 (g)	200	$\dot{H}_{in,3}$	$\dot{n}_{3.out}$	$\dot{H}_{out,3}$

Simplified equation for C_P: $C_{Pi} = a + b\,T_i$

Calculation of enthalpy values for sensible heat **تقدير قيم الانثالبي للحرارة المحسوسة**

$$\Delta\dot{H}_{i,sensible}\ (kJ/s) = \dot{n}_i\ [a\ (T_2 - T_1) + b\ \frac{T_2^2 - T_1^2}{2}] \qquad \text{(Eqn. 5.10)}$$

T_1= standard temperature (T°) = 25°C

$$\dot{H}_{in,1} = \Delta\dot{H}_{i,sensible}\ \text{for}\ C_4H_{10}\ (g) = \dot{n}_{in,1}\ [a.(T_2 - T_1) + b\ \frac{T_2^2 - T_1^2}{2}]$$

Values of a and b for n- butane; a = 92.30 x 10^{-3}, b = 27.88 x 10^{-5}

$$\dot{H}_{in,1} = 200\ [92.30 \times 10^{-3}\ (200 - 25) + 27.88 \times 10^{-5}\ \frac{200^2 - 25^2}{2}]$$

$$\dot{H}_{in,1} = 200\ [16.152 + 5.488\} = 4328\ kJ/s$$

$$\dot{H}_{out,2} = \Delta\dot{H}_{i,sensible}\ \text{for}\ C_2H_4\ (g) = \dot{n}_{out,2}\ [a.(T_2 - T_1) + b\ \frac{T_2^2 - T_1^2}{2}]$$

$\dot{H}_{out,2} = \dot{n}_{out,2}$ [a ($T_2 - T_1$) + b $\frac{T_2^2 - T_1^2}{2}$]

$\dot{H}_{out,2}$ = 200 [34.31 x 10^{-3} (200 – 25) + 5.469 x 10^{-5} $\frac{200^2 - 25^2}{2}$

$\dot{H}_{out,2}$ = 200 [6.00 + 1.093] = 1418.6 kJ/s

$\dot{H}_{out,2} = \dot{n}_{out,}3$ [a ($T_2 - T_1$) + b $\frac{T_2^2 - T_1^2}{2}$]

Values of a and b for ethane; a = 49.37 x 10^{-3}, b = 13.92 x 10^{-5}

$\dot{H}_{out,3}$ = 200 [49.37 x 10^{-3} (200 – 25) + b = 13.92 x 10^{-5} $\frac{200^2 - 25^2}{2}$]

$\dot{H}_{out,3}$ = 200 [8.639 + 2.740] = 2275.8 kJ/s

Change of enthalpy for the reactor **تقييم مقدار التغير في الانثالبي للمفاعل**

$\Delta\dot{H} = (\dot{n}_{i,in})\ (\Delta\dot{H}^o_r/\dot{\nu}_i) + \Delta\dot{H}_{sensible}$ (kJ/s) (Eqn. 5.11)

$\Delta H^o r = [\sum^{reactants} (|\nu_i|\ (\Delta\breve{H}^o_c)_i]\ - [\sum^{products} \nu_i\ (\Delta\breve{H}^o_c)_i]$ (Eqn.5.4)

$\Delta H^o r$ = [(1 x -1559.9)] - (1 x - 2871.5)] - [(1 x - 1410.8)

$\Delta H^o r$ = - 99.2 kJ for 1 gmol of butane , $\Delta\dot{H}^o_r$ = - 99 kJ/s for 1 gmol/s of butane

$\Delta\dot{H} = (\dot{n}_{i,in})\ (\Delta\dot{H}^o_r/\dot{\nu}_i) + [(\dot{H}_{out,2} + \dot{H}_{out,3}) - \dot{H}_{in,1}]$

$\Delta\dot{H}$ = 200 (- 99.2)/1 + [(1418.6 + 2275.8) – (4328)]

$\Delta\dot{H}$ = - 20,473.6 kJ/s = - 20.473 MW

Energy balance **موازنة الطاقة**

$\Delta\dot{H} = \dot{Q}$ (With flow) (Eqn. 4.15)

$\dot{Q}$ = - 20.473 MW Heat to be removed by cooling الحرارة الى يجب ازالتها بالتبريد

Comments **الملاحظات**

Energy balance calculations across the reactor become more complex with multiple reactions, and solution may require the use of a computer.

تصبح حسابات موازنة الطاقة عبر المفاعل اكثر تعقيداً بوجود تفاعلات متعددة، وقد يتطلب الحل استخدام الحاسبة الالكترونية.

Exercise

Solve the example with 90% conversion of butane.

تمرين

قم بحل المثال بوجود نسبة تحويل للبيوتان تساوي 90% .

Example 5.6

The oxidation of methanol at 35°C yields formaldehyde and water. The products are maintained at 180 °C by cooling. The reaction equation:

المثال 5.6

تُنتج اكسدة الميثانول عند 25 درجة مئوية مادة الفورمالديهايد مع الماء. يتم الحفاظ على درجة حرارة النواتج ثابتة عند 180 درجة مئوية عن طريق التبريد. معادلة التفاعل:

$$CH_3OH\ (l) + \tfrac{1}{2}\ O_2\ (g) \rightarrow HCHO_{(g)} + H_2O\ (l)$$

The heat of reaction is equal to (-37 kcal/s). The table below provides the molar specific heat capacity constants for the components.

وكان مقدار حرارة التفاعل يساوي (-37 kcal/s). يبين الجدول في ادناه قيم ثوابت السعة الحرارية النوعية المولية للعناصر.

Component	$ax10^3$	$bx10^5$
CH_3OH (l)	75.86	16.83
O_2 (g)	29.10	1.158
$HCHO_{(g)}$	34.28	4.268
H_2O (l)	75.4	-

$$C_{P,I\ (molar)} = a + b.T_i \quad \text{(simplified)}$$

Methanol is fed to the reactor at the rate of 160 gmol/s, and only 120 gmol/s consumed. If oxygen enters at 90°C and flow rate of 110 gmol/s, conduct an energy balance on the reactor to determine the heat required for cooling to keep products at 180°C.

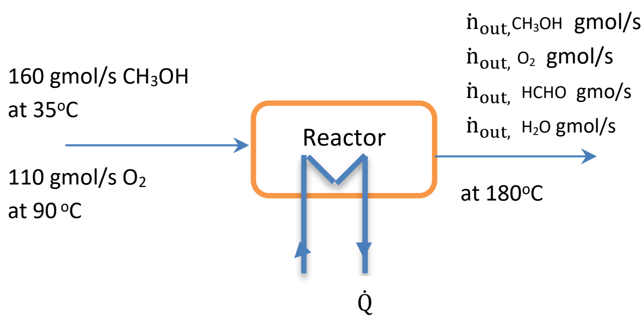
يدخل الميثانول الى المفاعل بمعدل 160 غرام مول/ ثانية، حيث يستهلك 120 غرام مول/ ثانية منه فقط. فاذا كان معدل جريان الاوكسيجين الداخل يساوي 110 غرام-مول/ثانية ودرجة حرارته 90 درجة مئوية، قم باجراء موازنة الطاقة لتحديد كمية الحرارة اللازمة لتبريد المفاعل وابقاء درجة حرارة المنتجات عند 180 درجة مئوية.

Solution

Basis: 160 gmol/s of methanol fed

الحل

الاساس للحسابات: 160 غرام مول/ثانية من الميثانول تدخل المفاعل



Flow chart مخطط البيانات الانسيابي

Material balance **موازنة المادة**

CH_3OH (l) + ½ O_2 (g) → HCHO $_{(g)}$ + H_2O (l)

1 mole of CH_3OH (l) reacts with ½ mole of O_2 (g) → 1 mole of HCHO $_{(g)}$ + 1 mole of H_2O (l)

120 moles of CH_3OH (l) reacts with ½ x 120 = 60 moles mole of O_2 (g)

In the products, 120 mole of HCHO + 120 H_2O + remaining O_2 + remaining CH_3OH

Therefore, we can estimate the flow rates of the products as follows
وعليه تستطيع تقدير قيم معدل الجريان لكل عنصؤ في المُنتجات كما يلي

$\dot{n}_{out, CH_3OH}$ = 160 - 120 = 40 gmol/s

$\dot{n}_{out, O_2}$ = 110 – 60 = 50 gmol/s

$\dot{n}_{out,}$ HCHO = 120 gmol/s

Extent of reaction **مدى تقدم التفاعل**

$\zeta = \frac{n_{out} - n_{in}}{\nu}$ based on CH_3OH number of moles

$\zeta = \frac{\dot{n}\,(out) - \dot{n}\,(in)}{\dot{\nu}}$ based on flow rates

$\zeta = \frac{40-160}{-1} = 50$

Reference standard conditions: **الظروف المرجعية القياسية:**

25°C and 1 atm

Table of data **جدول المعلومات**

Component	$\dot{n}_{in,i}$ (gmol/s)	$\breve{H}_{in,I} \times \dot{n}_{in,i}$ kJ/s	$\dot{n}_{out,i}$ (gmol/s)	$\dot{n}_{out,i} \times \breve{H}_{inout,i}$ kJ/s
CH_3OH (g)	160	$\dot{H}_{in,CH_3OH}$	40	$\dot{H}_{out,CH_3OH}$
O_2 (g)	110	$\dot{H}_{in,O_2}$	50	$\dot{H}_{out,O_2}$
HCHO $_{(g)}$	0.00	0.00	120	$\dot{H}_{out,HCHO}$
H_2O (l)	0.00	0.00	120	$\dot{H}_{out,H_2O}$

Evaluation of enthalpy values **تقدير قيم الانثالبي**

$\dot{H}_{in,CH_3OH} = \dot{n}_{in}[_{CH_3OH}$ [a x $(T_2 - T_1)$ + b $\frac{T_2^2 - T_1^2}{2}$]

T_1= standard temperature (T°) = 25°C

$\dot{H}_{in,CH_3OH}$ = 160 [75.86 x 10^{-3} (35 - 25) + (16.83 x 10^{-5} $\frac{35^2 - 25^2}{2}$]

$\dot{H}_{in,CH_3OH}$ = 129.454 kJ/s

$\dot{H}_{in,O_2} = \dot{n}_{in,O_2}$ [a $(T_2 - T_1)$ + b $\frac{T_2^2 - T_1^2}{2}$]

$\dot{H}_{in,O_2}$ = 110 [29.10 x 10^{-3} (90 – 25) + 1.158 x 10^{-5} $\frac{90^2 - 25^2}{2}$]

$\dot{H}_{in,O_2}$ = 287.122 kJ/s

$\dot{H}_{out,CH_3OH} = \dot{n}_{out,CH_3OH}$ [a $(T_2 - T_1)$ + b $\frac{T_2^2 - T_1^2}{2}$]

$\dot{H}_{out,CH_3OH}$ = 40 [75.86 x 10^{-3} (180 - 25) + (16.83 x 10^{-5} $\frac{180^2 - 25^2}{2}$]

$\dot{H}_{out,CH_3OH}$ = 577.286 kJ/s

$\dot{H}_{out,O_2} = \dot{n}_{out,O_3}$ [a $(T_2 - T_1)$ + b $\frac{T_2^2 - T_1^2}{2}$]

$\dot{H}_{out,O_2}$ = 50 [29.10 x 10^{-3} (180 – 25) + 1.158 x 10^{-5} $\frac{180^2 - 25^2}{2}$]

$\dot{H}_{out,O_2}$ = 234.723 kJ/s

$\dot{H}_{out,HCOH}$ = [a x $(T_2 - T_1)$ + b $\frac{T_2^2 - T_1^2}{2}$]

$\dot{H}_{out,HCOH}$ = 120 [34.28 x 10^{-3} (180 - 25) + 4.268 x10^{-5} $\frac{180^2 - 25^2}{2}$]

$\dot{H}_{out,HCOH}$ = 718.977 kJ/s

$\dot{H}_{out,H_2O} = \dot{n}_{H2O,out,H_2O}$ a x $(T_2 - T_1)$]

$\dot{H}_{out,H_2O}$ = 120 x 75.4 x 10^{-3} (180 – 25)

$\dot{H}_{out,H_2O}$ = 1402.44 kJ/s

Change of enthalpy for the reactor

تقييم مقدار التغير في الانثالبي للمفاعل

$$\Delta\dot{H} = \zeta\, \Delta\dot{H}^{o}_{r} + [\sum(\dot{H}_{out}) - \sum(\dot{H}_{in})] \qquad \text{(Eqn. 5.12)}$$

$\Delta\dot{H}^{o}_{r}$ = -37 kca/s = - 37 x 4.184 = -154.808 kJ/s

$\Delta\dot{H}$ = 50 x -154.808 + (577.286 + 234.723 + 718.977 + 1402.44) - (129.454 + 287.122)

$\Delta\dot{H}$ = - 5223.55 kJ/s

Energy balance

موازنة الطاقة

$\Delta\dot{H} = \dot{Q}$ (With flow) (Eqn.4.15)

$\dot{Q}$ = - 5223.55 kJ/s this is the cooling load. هذه هي كمية الحرارة المزاحة بالتبريد

Exercise

Solve the example using Excel

تمرين

قم بحل المثال باستخدام برنامج الاكسيل.

5.7 Adiabatic Chemical Reactor

The chemical reactor operates **adiabatically** when it is not exchanging heat with the surroundings. Thus the total enthalpy exchange is equal to zero ($\Delta\dot{H}$ = 0.0). For a continuous steady operation of a reactor, the energy balance is set up as follows

5.7 المفاعل الكيميائي الاديباتي

يعمل المفاعل الكيميائي بطريقة **اديباتية** عندما لا يتبادل الحرارة مع البيئة المحيطة به. وفي هذه الحالة، يصبح إجمالي التبادل الحراري او مقدار التغير الكلي في الانثالبي يساوي الصفر ($\Delta\dot{H}$ = 0.0). تُكتب موازنة الطاقة للتشغيل المستمروالمستقر للمفاعل الكيميائي على النحو التالي

$$\Delta\dot{H} = \zeta\, \Delta\dot{H}^{o}_{r} + [\sum(\dot{n}_{i,out}\, \breve{H}_{i,out}) - \sum(\dot{n}_{i,in}\, \breve{H}_{in})] \qquad \text{(kJ/s)} \qquad (5.12)$$

For an adiabatic reactor: للمفاعل الاديباتي:

$$\Delta\dot{H} = \dot{Q} = 0.0 \qquad (5.13)$$

$$\zeta\, \Delta\dot{H}^{o}_{r} + [\sum(\dot{n}_{i,out}\, \breve{H}_{i,out}) - \sum(\dot{n}_{i,in}\, \breve{H}_{i,in})] = 0.0 \qquad (5.14)$$

Equation 5.14 is used to determine the **adiabatic temperature** of the products of a reaction that occurs inside an **adiabatic reactor**. This is particularly useful for determining the flame temperature in fuel combustion systems.

تُستخدم المعادلة (5.14) في تقييم **درجة الحرارة الاديباتية** لمنتجات تفاعل يحدث داخل **مفاعل اديباتي**. وهذا مفيد بشكل خاص لتحديد درجة حرارة اللهب في منظومات احتراق الوقود التي سيأتي شرحها.

5.8 Energy Balance for Combustion

5.8 موازنة الطاقة لمنظومات الاحتراق

We discussed the types of fuel, the combustion reactions and material balance for combustion systems in section 3.6 of chapter3. Here we address energy balances based on the **heating value** or calorific value of the fuel, which is equal to the negative of the standard heat of combustion ($-\Delta H^o_c$). The **lower heating value** (LHV) and **higher heating value** (HHV) are defined as follows

كنا قد ناقشنا أنواع الوقود وتفاعلات الاحتراق وموازنة المادة لمنظومات الاحتراق في االفقرة (3.6) من الفصل الثالث. وهنا نتطرق الى موازنة الطاقة استناداً الى **القيمة الحرارية** للوقود التي تساوي سالب حرارة الاحتراق القياسية ($-\Delta \breve{H}^o_c$). تُعرّف كل من **القيمة الحرارية المنخفضة** (LHV) **والقيمة الحرارية العليا** (HHV) على النحو التالي

$LHV = -(-\Delta \breve{H}^o_c)$ for 1 gmol of fuel (water vapour is present in products وجود بخار الماء في المنتجات)

$HHV = LHV + n_{water} (\Delta \breve{H}_{evap})$, $\Delta \breve{H}_{evap}$ (liquid water is present in products وجود الماء السائل في المنتجات

We can formulate an equation to estimate the rate of change of enthalpy across the combustion reactor ($\Delta \dot{H}$) as follows

ويمكننا صياغة معادلة لتقديرمعدل التغيير في الانثالبي عبر مفاعل لاحتراق ($\Delta \dot{H}$) على النحو التالي

$$\Delta \dot{H} = \zeta \Delta \dot{H}^o_r + (\sum \dot{H}_{i,out} - \sum \dot{H}_{i,in}) \quad (\dot{H}_i = \dot{n}_i . \breve{H}_i) \quad \text{(energy balance)} \quad \text{(Eqn.5.12)}$$

$$\Delta \dot{H} = \zeta \Delta H^o_r + [\sum (\dot{n}_{i,out} \breve{H}_{i,out}) - \sum (\dot{n}_{i,in} \breve{H}_{i,in})] \quad \text{(kJ/s)}$$

For complete combustion of 1 gmol of fuel, $\zeta = 1$ للاحتراق الكامل لمول واحد من الوقود،

$$\Delta H = 1 \text{ (gmol of fuel feed)} \times \Delta \breve{H}^o_c + [\sum (n_{i,out} \breve{H}_{i,out}) - \sum (n_{i,in} \breve{H}_{i,hn})] \quad \text{(kJ)} \quad (5.15)$$

For the **combustion adiabatic reactor**:

وبالنسبة الى **مفاعل الاحتراق الاديباتي**، تُكتب المعادلة:

$$\Delta \breve{H}^o_c + [\sum (n_{i,out} \breve{H}_{i,out}) - \sum (n_{i,in} \breve{H}_{i,in})] = 0.0 \quad (5.16)$$

5.9 Flame temperature

5.9 درجة حرارة اللهب

Equation 5.13 may be used to determine the enthalpies of the reactants and products. Equation 5.14 is used for the calculation of the product temperature or the **adiabatic flame temperature**.

يمكن استخدام المعادلة (5.13) لتحديد مقدار الانثالبي للمواد المتفاعلة ولمنتجات الاحتراق، بينما تُستخدم المعادلة (5.14) لحساب درجة حرارة منتجات الاحتراق أو ما يسمى **بدرجة حرارة اللهب**.

Let us now solve some relevant examples to illustrate the above.

دعونا الآن نحل بعض ألامثلة ذات الصلة لتوضيح ما ورد في اعلاه.

Example 5.7

المثال 5.7

The following reaction takes place in a continuous adiabatic reactor.

يحدث التفاعل التالي في مفاعل اديباتي مستمرالتشغيل،

$$C_2H_5OH\,(v) \rightarrow CH_3CHO\,(v) + H_2\,(g)$$

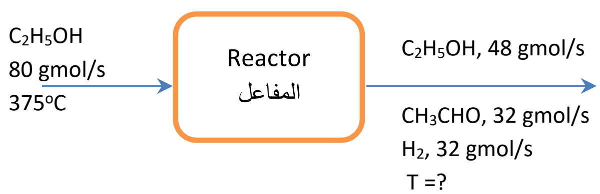
If the feed at 375°C and flow of 80 gmol/s, determine

فاذا كانت درجة حرارة المواد الداخلة للمفاعل تساوي 375 درجة مئوية ومعدل جريانها (80 gmol/s), اوجد

The adiabatic temperature of products for 40% conversion of ethyl alcohol. Heats of formation values:

درجة حرارة المنتجات الاديباتية لتحويل 40% من الكحول الاثيلي. قيم حرارة التكوين:

Component	ΔH^o_f (kJ/gmol)
C_2H_5OH (v)	-235.3
CH_3CHO(v)	- 166.2
H_2 (g)	0.0



$$C_{P,i}\,(kJ/gmol^oC) = a + b\,T_i$$

Solution

الحل

<u>Basis:</u> 80 gmol/s of feed

<u>الاساس للحسابات:</u> (80 gmol/s) من المادة الداخلة للمفاعل

Material balance

موازنة المادة

$$C_2H_5OH\,(v) \rightarrow CH_3CHO\,(v) + H_2\,(g)$$

According to stoichiometry:

وفقاً لتكافؤ العناصر:

1 gmol of C_2H_5OH → 1 gmol of CH_3CHO + 1 gmol of H_2

40% conversion, thus ethanol reacted = (40/100) 80 = 32 gmo/s

Products contain 80 - 32 = 84 gmol/s of C_2H_5OH + 32 gmol/s of CH_3CHO + 32 gmol/s H_2

Extent of reaction **مدى تقدم تلتفاعل**

ζ = based on C_2H_5OH flow rates

$$\zeta = \frac{\dot{n}_{in} - \dot{n}_{out,}}{\nu} = \frac{80 - 48}{1} = 32$$

Reference conditions **الظروف المرجعية**

Standard conditions, 25°C and 1 atm الظروف القياسية،

Table of data **جدول المعلومات**

Component	$\dot{n}_{in,i}$ (gmol/s)	$H_{in,I}$ (kJ/gmol)	$\dot{n}_{out,i}$ (gmol/s)	$H_{out,i}$ (kJ/gmol)	a x 10^{-3}	b x 10^{-5}
C_2H_5OH (v)	80	H_{in,C_2H_5OH}	48	H_{out,C_2H_5OH}	61.34	15.72
CH_3CHO (v)	0.00	0.00	32	$H_{,CH_3COH}$	50.48	1.326
H_2 (g)	0.00	0.00	32	H_{out,H_2}	28.84	0.00765

Formulation of enthalpy equations

صياغة معادلات الانثالبي

Reactant: **المواد المتفاعلة:**

$\breve{H}_{in,C_2H_5OH} = \int_{25}^{375} C_P\, dT = a\,(T_2 - T_1) + b\,[\,(T_2^2 - T_1^2)/2]$ (kJ/gmol)

$\breve{H}_{in,C_2H_5OH}$ = = $61.34 \times 10^{-3} \times (375 - 25) + 15.72 \times 10^{-5}\,(375^2 - 25^2)/2$ (kJ/gmol)

Products: **منتوجات التفاعل:**

C_2H_5OH:

$\breve{H}_{out,C_2H_5OH} = \int_{25}^{T} C_P\, dT = a(T_2 - T_1) + b\,[\,(T_2^2 - T_1^2)/2]$

$\breve{H}_{out,C_2H_5OH} = 61.34 \times 10^{-3} \times (T - 25) + 15.72 \times 10^{-5}\,(T^2 - 25^2)/2$

CH_3CHO:

$\breve{H}_{out,CH_3CHO} = 50.48 \times 10^{-3} \times (T - 25) + 1.326 \times 10^{-5}\,(T^2 - 25^2)/2$

H_2:

$\breve{H}_{out,H2} = 28.84 \times 10^{-3} \times (T - 25) + 0.00765 \times 10^{-5} (T^2 - 25^2)/2$

Estimation of adiabatic temperature T **تقدير درجة الحرارة الاديباتية**

$\Delta\breve{H}°r = \sum^{products} v_i (\Delta\breve{H}°_f)_i - \sum^{reactants} (|v_i| ((\Delta\breve{H}°_f)_i$ (kJ) (Eqn. 5.1)

$\Delta\breve{H}°r = 1 \times -166.2 + 1 \times 0.00 - 1 \times (-235.3) = 69.3$ kJ/gmol

For an adiabatic reactor: $\Delta\dot{H} = 0.00$, $\Delta\dot{H}°_r$ (kJ/s) $= \dot{n}_i \times \Delta\breve{H}°r$

$\zeta\, \Delta\dot{H}°_r + [\sum (\dot{n}_{i,out}\ \breve{H}_{i,out}) - \sum (\dot{n}_{i,in}\ \breve{H}_{i,in})] = 0.0$ (Eqn. 5.14)

$$32 \times 69.3 + \{32\ 50\ [48\ 10^{-3} \times (T - 25) + 1.326 \times 10^{-5} (T^2 - 25^2)/2]$$
$$+ 48\ [61.34 \times 10^{-3} \times (T - 25) + 15.72 \times 10^{-5} (T^2 - 25^2)/2]$$
$$+ 32\ [28.84 \times 10^{-3} \times (T - 25) + 0.00765 \times 10^{-5} (T^2 - 25^2)/2)]\}$$
$$- \{[80\ (61.34 \times 10^{-3} \times (375 - 25) + 15.72 \times 10^{-5} (375^2 - 25^2)/2)]\} = 0.0$$

The easiest way to find T is to apply the **trial and error** technique using Excel. It is also possible to assume a value for temperature and then calculating the left hand side of the equation. The guessing process is repeated until the answer approaches zero; the final guess would then be the adiabatic temperature of the products.

تُعد تقنية التجربة والخطأ افضل طريقة لايجاد قيمة (T) بواسطة برنامج الاكسيل. ويمكن ايضا افتراض قيمة لدرجة الحرارة ثم حساب الطرف الايسرمن المعادلة وتكرار الافتراض الى ان يقترب الجواب من الصفر، عند ذلك تكون آخر فرضية تمثل درجة الحرارة الاديباتية لنواتج التفاعل.

Try the Excel trial and error technique to find the answer.

استخدم طريقة التجربة والخطأ لاكمال الحل وايجاد الجواب.

Comments

1. Clearly, the calculation of the adiabatic temperature is lengthy and requires a computer program or software to solve.
2. The calculation of the flame temperature is similar but using equation 5.16 instead of 5.14.

الملاحظات

1. يتضح ان حسابات درجة حرارة الاديباتية طويلة وتتطلب استخدام الحاسبة الالكترونية او احد البرامج الجاهزة لحلها.
2. يتشابه حساب درجة حرارة اللهب مع الحسابات في اعلاه ولكن تستخدم المعادلة (5.16) بدلا من المعادلة (5.14).

Example 5.8

المثال 5.8

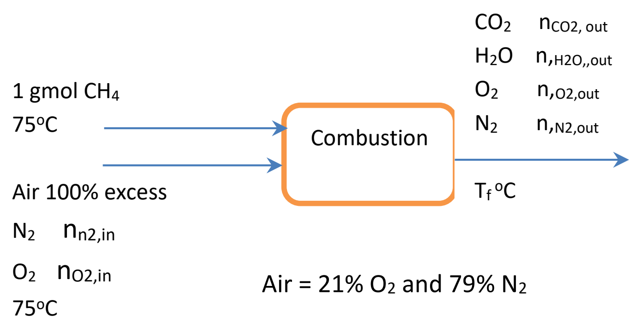
Methane at 75°C and 1 atm is burned in 100 % excess air adiabatically, calculate the flame temperature T_f for the following combustion reaction

يُحرق غاز الميثان اديباتياً عند درجة حرارة مقدارها 75 درجة مئوية وضغط (1 atm) في الهواء بنسبة 100% من الفائض، احسب درجة حرارة اللهب (T_f) لتفاعل الاحتراق الآتي

$$CH_4\,(g) + 2O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + 2H_2O\,(g) \qquad \Delta\breve{H}^o_c = -\,885.4\ \text{kJ/gmol}$$

Flow chart:

مخطط البيانات الانسيابي:



Air = 21% O_2 and 79% N_2

$$C_{P,i}\ (\text{kJ/gmol}^{O}\text{C}) = a + bT_i\ (\text{simplified})$$

Solution

الحل

Basis: 1gmol/s of CH_4

الاساس للحسابات: 1 غرام مول من (CH_4)

Material balance

موازنة المادة

Theoretical oxygen = 2 gmol — كمية الاوكسيجين النظرية

$n_{O2,in}$ = 2 x 2 = 4 gmol of oxygen fed to the reactor — كمية الاوكسيجين الداخلة

Air fed = 4/0.21 = 19.047 gmol — كمية الهواء الداخلة

$n_{N2,in}$ = 0.79 x 19.047 = 15.047 gmol of nitrogen fed — كمية انايتروجين الداخلة

1 gmol of CH_4 → 1 gmol of CO_2 + 2 gmol of H_2O

$n_{CO2,out}$ = 1 gmol

$n_{,H2O,,out}$ = 2 gmol

$n_{,O2,out}$ = 4 - 2 = 2 gmol

$n_{,N2,out}$ = 15.047 gmol

Reference conditions **الظروف المرجعية**

Standard conditions, 25°C and 1 atm الظروف القياسية،

Table of data **جدول المعلومات**

Component	$n_{in,i}$ (gmol)	$\breve{H}_{in,i}$ (kJ/gmol)	$n_{out,i}$ (gmol	$\breve{H}_{iout,i}$ (kJ/gmol)	a x 10^{-3}	b x 10^{-5}
CH_4 (g)	1	H_{in,CH_4}	0	0	34.31	5.469
O_2 (g)	4	H_{in,O_2}	2	H_{out,O_2}	29.10	1.158
N_2 (g)	15.047	H_{in,N_2}	15.047	H_{out,N_2}	29.00	0.2199
CO_2 (g)	0	0	1	H_{out,CO_2}	36.11	4.233
H_2O (v)	0	0	2	H_{out,H_2O}	33.46	0.6880

Formulation of enthalpy equations **صياغة معادلات الانثالبي**

Reactants: **المواد المتفاعلة:**

$\breve{H}_{in,\ ,CH_4} = \int_{25}^{75} C_P\, dT = a\,(T_2 - T_1) + b\,[\,(T_2^2\ - T_1^2)/2]$ (kJ/gmol)

$\breve{H}_{in,CH_4} = 34.31\ (75\text{-}25)\ 10^{-3} + 5.469 \times 10^{-5}\ (75^2 - 25^2)/2$ (kJ/gmol)

$\breve{H}_{in,O_2} = 29.10\ (75\text{-}25)\ 10^{-3} + 1.158 \times 10^{-5}\ (75^2 - 25^2)/2$

$\breve{H}_{in,N_2} = 29.00\ (75\text{-}25)\ 10^{-3} + 0.2199 \times 10^{-5}\ (75^2 - 25^2)/2$

Products: **المنتجات:**

$\breve{H}_{out,O_2} = 29.10\ (75\text{-}25)\ 10^{-3} + 1.158\ \times 10^{-5}\ (T^2 - 25^2)/2$

$\breve{H}_{out,N_2} = 29.00\ (75\text{-}25)\ 10^{-3} + 0.2199 \times 10^{-5}\ (T^2 - 25^2)/2$

$\breve{H}_{out,CO_2} = 36.11\ (75\text{-}25)\ 10^{-3} + 4.233 \times 10^{-5}\ (T^2 - 25^2)/2$

$\breve{H}_{out,\ H_2O} = 33.46\ (75\text{-}25)\ 10^{-3} + 0.6880 \times 10^{-5}\ (T^2 - 25^2)/2$

Calculation of adiabatic flame temperature T_f

حساب درجة اللهب الاديباتية (T_f)

$$\Delta\breve{H}^o_c + [\sum (n_{i,out}\, \breve{H}_{i,out}) - \sum (n_{i,in}\, \breve{H}i, in)] = 0.0 \qquad \text{(Eqn.5.16)}$$

$$- 885.4 + \{34.31[(75\text{-}25)\, 10^{-3} + 5.469 \times 10^{-5}\, (75^2 - 25^2)/2]$$

$$+ 29.10\, [75\text{-}25)\, 10^{-3} + 1.158 \times 10^{-5}\, (75^2 - 25^2)/2]$$

$$+ 29.00\, [75\text{-}25)\, 10^{-3} + 0.2199 \times 10^{-5}\, (75^2 - 25^2)/2]$$

$$+ 29.10\, [75\text{-}25)\, 10^{-3} + 1.158 \times 10^{-5}\, (T^2 - 25^2)/2]\}$$

$$- \{[29.00\, (75\text{-}25)\, 10^{-3} + 0.2199 \times 10^{-5}\, (T^2 - 25^2)/2]$$

$$+ [36.11\, (75\text{-}25)\, 10^{-3} + 4.233 \times 10^{-5}\, (T^2 - 25^2)/2]$$

$$+ [33.46\, (75\text{-}25)\, 10^{-3} + 0.6880 \times 10^{-5}\, (T^2 - 25^2)/2)]\} = 0.00$$

Apply trial and error technique to find T_f using a computer program or software such as Excel.

طبق تقنية التجربة والخطأ للحصول على قيمة (T_f) باستخدام برنامج كمبيوتر أو احد البرنامج الجاهزة مثل الاكسيل.

Comments

الملاحظات

Excel is in fact is suitable to solve trial and error problem.

المعلوم انه يمكن استخدام برنامج الاكسيل لحل مسائل التجربة والخطأ بسهولة.

Review Questions and Problems

اسئلة المراجعة والمسائل

Basic Concepts

المفاهيم الاساسية

5.1 Define heat of reaction and heat of formation.

5.1 عرف حرارة التفاعل وحرارة التكوين.

5.2 Why do we use the standard heat of reaction and standard heat of formation?

5.2 لماذا نستخدم حرارة التفاعل القياسبة وحرارة التكوين القياسية؟

5.3 How do you calculate the standard heat of reaction?

5.3 كيف تقوم بحساب حرارة التفاعل القياسية؟

5.4 State Hess's law and show how it is applied in calculating the heart of reaction.

5.4 اذكر نص قانون هَس وبين كيفية تطبيقه في حساب حرارة التفاعل.

5.5 What is the heat of combustion? Give some examples of combustion reactions?

5.5 ما هي حرارة الاحتراق؟ أذكر بعض الأمثلة على تفاعلات الاحتراق؟

5.6 Why combustion reaction considered exothermic?

5.6 لماذا يعتبر تفاعل الاحتراق طارداً للحرارة؟

5.7 Write the equations for 2 typical exothermic reactions and 2 for endothermic reactions.

5.7 اكتب المعادلات لتفاعلين طاردين للحرارة وتفاعلين ماصة للحرارة.

5.8 Define latent heat and sensible heat.

5.8 عرف الحرارة الكامنة والحرارة المحسوسة.

5.9 How do you calculate sensible heat?

5.9 كيف تحسب الحرارة المحسوسة؟

5.10 Why the specific heat capacity of water is constant? While that of methane varies with temperature.

5.10 لماذا تكون السعة الحرارية النوعية للماء ثابتة؟ بينما تتغير لغازالميثان مع تغيردرجة الحرارة.

5.11 Write the equation for C_p as a function of temperature for CO_2. Find the values of the constants from property tables available in relevant sources.

5.11 ضع معادلة للسعة الحرارية (C_p) كدالة لدرجة الحرارة لغاز ثاني أوكسيد الكربون. أوجد قيم الثوابت من جداول الخواص المتوفرة في المصادر ذات الصلة.

5.12 How do you conduct combined material and heat balance on a chemical reactor?

5.12 كيف تقوم باجراء موازنة المادة وموازنة الطاقة في آن معاً للمفاعل كيميائي؟

5.13 Write the equation for enthalpy change across the chemical reactor.

5.13 اكتب معادلة لايجاد مقدار التغير بالانثالبي عبر المفاعل الكيميئي.

5.14 Explain the significance of extent of reaction in energy balance for a reactor.

5.14 وضح اهمية مدى تقدم التفاعل في موازنة الطاقة للمفاعل.

5.15 Write down an energy balance equation for a combustion system.

5.15 اكتب معادلة موازنة الطاقة لمنظومة احتراق معينة.

5.16 Conduct energy balance for an adiabatic chemical reactor.

5.16 قم بأجراء موازنة الطاقة لمفاعل كيميائي اديباتي.

5.17 Define the adiabatic flame temperature.

5.17 عرف درجة حرارة اللهب الاديباتية.

5.18 How do you calculate the flame temperature?

5.18 كيف تحسب درجة حرارة اللهب؟

5.19 Why do we need a commuter programmes to determine the flame temperature?

5.19 لماذا نحتاج إلى برامج الحاسبة الالكترونية لتحديد قيمة درجة حرارة اللهب؟

Heat of reaction & heat of formation

حرارة التفاعل وحرارة التكوين

5.20 Calculate the standard heat of reaction for the oxidation of methanol to formaldehyde and water according to the following reaction

5.20 احسب حرارة التفاعل القياسية لأكسدة الميثانول إلى الفورمالديهايد والماء وفقا للتفاعل التالي

$$CH_3OH\ (l) + ½O_2\ (g) \rightarrow HCHO\ (g) + H_2O\ (l)$$

Component	$\Delta\breve{H}^o_f$ (kJ/gmol)
CH_3OH (l)	-239.03
O_2 (g)	0.00
HCHO (g)	- 108.53
H_2O (l)	- 285.64

5.21 Determine the standard heat of reaction for the reaction of ethyl chloride with potassium hydroxide to form methanol plus potassium chloride

5.21 اوجد حرارة التفاعل القياسية لتفاعل مادة الميثايل كلورايد مع هيدروكسيد البوتاسيوم لانتاج الميثانول وكلوريد البوتاسيوم

$$CH_3Cl\ (g) + KOH\ (s) \rightarrow CH_3OH\ (l) + KCl\ (s)$$

Component	$\Delta\breve{H}^o_f$ (kJ/gmol)
CH_3Cl (g)	- 102.84
KOH (s)	- 424.46
CH_3OH (s)	- 239.03
KCl (s)	- 436.43

Ans. -148.15 kJ الجواب

5.22 Evaluate the change in enthalpy across the reactor for the reaction for problem 5.21 for the production of 60 gmol of methyl chloride.

5.22 قييم مقدار التغير في الانثالبي عبر المفاعل للتفاعل المذكور في المسألة (5.21) لانتاج 60 غرام مول من الميثايل كلورايد.

5.23 Based on Hess's law, calculate the standard heat of reaction for the production of ester from the reaction of ethyl alcohol with acetic acid according to the following equation

5.23 احسب حرارة التفاعل القياسية لإنتاج الإستر من تفاعل الكحول الإيثيلي مع حامض الأسيتيك استناداً الى قانون هِّس وطبقاً للمعادلة التالية

$$C_2H_5OH + CH_3COOH \rightarrow C_2H_5OOCH_3 + H_2O$$

Component	$\Delta \breve{H}^o_c$ (kJ/gmol)
C_2H_5OH	- 1367.90
CH_3COOH	- 872.31
$C_2H_5OOCH_3$	- 2255.78
H_2O	0.00

5.24 The standard heat of formation for a compound $\Delta H^o_{f,(compound)}$ may be determined by the equation:

5.24 اذا كان بالامكان تحديد حرارة التكوين القياسية للمركب الكيميائي ($\Delta H^o_{f,compound}$) بالمعادلة التالية:

$$\Delta H^o_f\text{ (compound)} = \sum v_i \, \Delta \breve{H}^o_f\text{ (reactants)} - \sum v_i \, \Delta \breve{H}^o_c\text{ (products)} \qquad \text{(kJ)}$$

Calculate the standard heat of formation for n-propanol ($\Delta H^o_{f\,(C_3H_7OH)}$) according to the reaction:

احسب حرارة التكوين القياسية لـلبروبانول (n-propanol) ($\Delta H^o_{f\,(C_3H_7OH)}$) وفقًا للتفاعل:

$$3C\text{ (s)} + 4H_2\text{ (g)} + ½O_2\text{ (g)} \rightarrow C_3H_7OH\text{ (l)}$$

Data:

المعلومات:

$C\text{ (s)} + O_2\text{ (g)} \rightarrow CO_2\text{ (g)}$ $\qquad \Delta \breve{H}^o_{f\,(CO_2)} = -\ 393.21$ kJ/gmol

$2H_2\text{ (g)} + O_2\text{ (g)} \rightarrow 2H_2O\text{ (l)}$ $\qquad \Delta \breve{H}^o_f = (H_2O) - 285.64$ kJ/gmol

$C_3H_7OH\text{ (l)} + 4.5O_2\text{ (g)} \rightarrow 3CO_{2\,(g)} + 4H_2O\text{ (l)}$ $\qquad \Delta \breve{H}^o_c\,(C_3H_7OH) = -\ 2026.73$ kJ/gmol

Ans. $\Delta H^o_{f\,(C_3H_7OH)} = -295.47$ kJ /1 gmol of n- C_3H_7OH الجواب

5.25 Calculate the standard heat of reaction for the following reaction

5.25 احسب حرارة التفاعل القياسية للتفاعل التالي

$$C_2H_5\,OH\,(g) \rightarrow Ch_3CHO\,(g) + H_2\,(g)$$

Based on the values of standard heat of combustion listed in the table below

باعتماد قيم حرارة الاحتراق القياسية المدرجة في الجدول أدناه

Component	$\Delta\breve{H}^o_c$ (kJ/gmol)
C_2H_5OH	- 1367.90
CH_3CHO	- 1192.5
H_2	- 285.64

Sensible heat

الحرارة المحسوسة

5.26 Determine the heat amount of heat required to heat 10 gmol of carbon dioxide from 30°C to 350K.

5.26 حدد كمية الحرارة اللازمة لتسخين 10 غرام مول من ثاني أوكسيد الكاربون من 30 درجة مئوية (30°C) إلى 350 درجة كيلفن (350K).

$$C_{p,\,(molar)}\ (kJ/gmol.^oC) = 36.11 \times 10^{-3} + 4.233 \times 10^{-5}T \quad \text{(simplified)}$$

5.27 Calculate the heat amount of heat required to heat 15 gmol of air from 289 K to 500 K.

5.27 احسب كمية الحرارة اللازمة لتسخين (15 gmol) من الهواء من (289 K) إلى (500 K).

$$C_{p\,(molar)}\ (kJ/gmol.K) = a + b.T \qquad \text{(simplified)}$$

Find the values of the constants from physical properties tables for air.

اوجد قيم الثوابت من جداول الخواص الفيزيائية للهواء.

5.28 The specific heat capacity for an ideal gas mixture ($C_{P,mix}$) is estimated by the following relationship

5.28 تُقدر السعة الحرارية النوعية لخليط الغاز المثالي ($C_{P,mix}$) بواسطة العلاقة التالية

$$C_{P,mix} = \sum y_i\, C_{P,\,I}$$

Derive an equation for the specific heat capacity $C_{P,mix}$ of the following flue gas mixture

اشتق معادلة السعة الحرارية النوعية ($C_{P,mix}$) لخليط غاز المداخن التالي

Flue gas mixture composition mol%:

مكونات خليط غاز المداخن باالنسبة المؤوية المولية:

CO_2 = 12%, H_2O = 13%, O_2 = 2%, N_2 = 73%

$C_{P,I}$ (kJ/gmol.°C) = a + b.T (simplified)

Component	a x 10^{-3}	b x 10^{-5}
CO_2	36.11	4.233
H_2O (g)	33.46	0.6880
O_2	29.10	1.158
N_2	29.00	0.2199

5.29 Calculate the heat lost for from 21 gmol of the flue gas mentioned in problem 5.27 after it cools from 700 K to 320 K. Use Excel to facilitate the solution.

5.29 احسب الحرارة المفقودة من 21 غرام مول من غاز المداخن المذكور في المسألة (5.27) بعد تبريده من 700 كيلفن إلى 320 كيلفن. استخدم برنامج الاكسيل لتسهيل الحل.

5.30 Air is heated from 27°C to 177°C. Calculate the change in enthalpy for a flow rate of 13.38 kmol/h. Air is made up of 21% oxygen and 79% nitrogen approximately.
The simplified molar specific heat capacity equations are

5.30 يُسخن الهواء من 27 درجة مئوية إلى 177 درجة مئوية. احسب مقدار التغير في الانثالبي لمعدل جريان مقداره (13.38 kmol/h).علماً ان الهواء يتكون من 21% أوكسجين و79% نايتروجين على وجه التقريب.

معادلات السعة الحرارية المولية النوعية المبسطة هي

$$C_{P,O2,\ molar} = 26.01 + 11.76^{-3}\,T$$

$$C_{P,N2,\ molar} = 26.01 + 11.76^{-3}\,T$$

Ans. 15.74 kJ/s (kW) الجواب

Energy balance for reactive systems

موازنة الطاقة لمنظومات التفاعلات الكيميائية

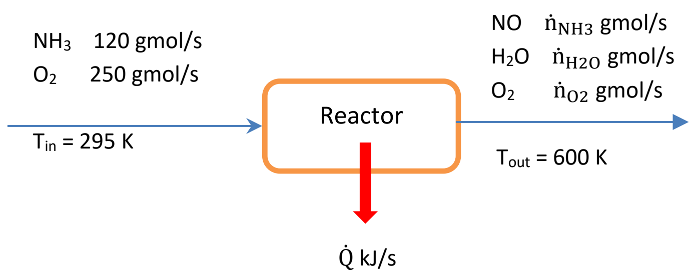
5.31 Determine the rate of heat transfer from the reactor for the complete consumption of ammonia according to the following reaction

5.31 حدد قيمة معدل انتقال الحرارة من المفاعل الكيميائي للاستهلاك الكامل لغاز الأمونيا حسب التفاعل التالي

$$4NH_3\,(g) + 5O_2\,(g) \rightarrow 4NO\,(g) + 6H_2O\,(g) \qquad \Delta H^o_r = -\,905.54 \text{ kJ/gmol}$$

Flow chart:

مخطط البيانات الانسيابي:



Data:

المعلومات:

Component	a x 10^{-3}	b x 10^{-5}
NH_3 (g)	35.15	2.954
H_2O (g)	33.46	0.6880
O_2	29.10	1.158
NO (g)	29.50	0.8188

$$C_p\ (kJ/gmol.^oC) = a + b.T$$

5.32 Solve problem 5.29 for conversion of 45% of the ammonia.

5.32 حل المسألة (5.29) لتحويل 45% من الامونيا.

5.33 Calcium oxide is used in the production of cement; it is produced by thermal decomposition of calcium carbonate at 1 atm according to the following reaction

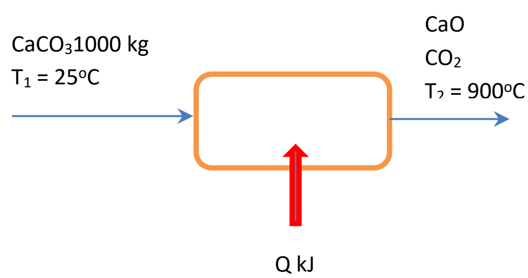
5.33 يستخدم أوكسيد الكالسيوم في إنتاج الأسمنت، ويتم إنتاجه عن طريق التحلل الحراري لكاربونات الكالسيوم عند الضغط (1 atm) حسب التفاعل التالي:

$$CaCO_3\ (s) \xrightarrow{\text{Heat}} CaO\ (s) + CO_2\ (g)$$

Calculate the amount of heat needed to completely decompose 1000 kg of carbonate.

احسب كمية الحرارة اللازمة لتحليل 1000 كغم من الكاربونات تحليلاً كاملاً.

Flow chart: مخطط البيانات الانسيابي:



Data:

المعلومات:

Component	MW	a x 10^{-3}	b x 10^{-5}	$\Delta\breve{H}^o_f$ (kJ/gmol)
$CaCO_3$ (s)	100	82.34	4.975	-1207.1
CaO (s)	56	41.84	2.03	-635.1
CO_2 (g)	44	36.11	4.23	-393.5

$C_{P\,(CaCo3)}$ = a + b.T (kJ/gmol.°C

$C_{P\,(CaO}$ = a + b.T (kJ/gmol.°C

$C_{P\,(Co2)}$ = a + b.T (kJ/gmol.K

Note: the value of specific heat capacity in kJ/gmol.°C is the same as its value in kJ/gmol.K. However the relevant temperature units should be used in the C_p equation.

ملاحظة: ان قيمة السعة الحرارية النوعية بوحدات (kJ/gmol.°C) هي نفس قيمتها بالوحدات (kJ/gmol.K). ومع ذلك، ينبغي استخدام وحدات درجة الحرارة ذات الصلة بمعادلة حساب قيمة (C_p)

Ans. 2.237 x 10^6 kJ الجواب

5.34 The oxidation of sulphur dioxide is carried out in an adiabatic reactor according to the reaction

5.34 تُنجز أكسدة ثاني أوكسيد الكبريت في مفاعل اديباتي وفقًا للتفاعل

$$SO_2\,(g) + \tfrac{1}{2}\,O_2\,(g) \rightarrow SO_3\,(g)$$

The feed enters at 25°C and 1 atm; the flowrates of 200 gmol/s of SO_2 and 120 gmol/s of O_2.

حيث تدخل الغازات للمفاعل عند 25 درجة مئوية وتحت تأثير الضغط الجوي بمعدلات جريان مقدارها 200 غرام-مول/ثانية (gmol/s) من غاز ثاني اوكسيد الكبريت و 120 غرام مول/ثانية (gmol/s) من غاز الاوكسيجين.

a- Set up a data table for specific molar heat capacity constants values and heat of formations. Assume

أ- قم باعداد جدول للمعلومات يخص ثوابت السعة الحرارية المولية النوعية ومقادير حرارة التكوين لكل عنصر في التفاعل. افترض:

$$C_{P,i} = a + b.T + c.T^2$$

b- Set up enthalpy equations for sensible heat for each component

c- Determine the adiabatic temperature in the reactor using excel.

ب- ضع معادلات تخص الحرارة المحسوسة لكل عنصر

ج- حدد قيمة درجة الحرارة الاديباتية في المفاعل الكيميائي مستخدماً برنامج الاكسيل.

Combustion and Flame temperature

الاحتراق ودرجة اللهب

5.35 Calculate the standard heat of reaction and HHV in kJ/kg for the complete combustion of methane.

5.35 احسب حرارة التفاعل القياسية والقيمة الحرارية العليا (HHV) بوحدات (kJ/kg) للاحتراق الكامل لغاز الميثان

Note: remember that

Lower heating value of fuel LHV is the heat of combustion when the water in the combustion products is vapour.

Higher heating value of fuel HHV is the heat of combustion when the water in the combustion products is vapour.

HHV = LHV + (number of moles of water x latent heat of vaporisation of water $\Delta\breve{H}_{evap}$ at 25°C).

ملاحظة: تذكر ان

القيمة الحرارية المنخفضة للوقود (LHV) هي حرارة الاحتراق عندما يكون الماء الموجود في منتجات الاحتراق بخاراً.

القيمة الحرارية العليا للوقود (HHV) هي حرارة الاحتراق عندما يكون الماء الموجود في منتجات الاحتراق سائلاً.

(HHV) = (LHV) + (عدد مولات الماء x الحرارة الكامنة لتبخر الماء ($\Delta\breve{H}_{evap}$) عند 25 درجة مئوية).

$$CH_4\,(g) + 2O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + 2H_2O\,(v)$$

Latent heat of vaporisation of water at 25°C, $\Delta\breve{H}_{evap}$ = 44 kJ/gmol

Component	$\Delta\breve{H}^o_f$ kJ/gmol
CH_4 (g)	-74.9
CO_2 (g)	-394
O_2	0.00
H_2O (v)	-241.8

Ans. – 802.7kJ, HHV = 54.981 MJ/kg

5.36 Methane at 85°C and 1 atm is burned in 100 % excess air adiabatically, calculate the flame temperature T_f for the following combustion reaction

5.36 يُحرق غازالايثان اديباتياً عند درجة حرارة مقدارها 85 درجة مئوية وضغط (1 atm) في هواء فائض بنسبة (100%)، احسب درجة حرارة اللهب (T_f) لتفاعل الاحتراق التالي

$$C_2H_6\,(g) + 3.5O_2\,(g) \rightarrow 2CO_2\,(g) + 3H_2O\,(g) \qquad \Delta H^o_c = -1560\ kJ/gmol$$

Assume the following relation for C_P:

افترض المعادلة التالية لحساب (C_P):

$$C_{P,I} = a + b.Ti$$

Find the required data from the Internet or other relevant sources.

اوجد المعلومات الضرورية للحسابات من الانترنت او من المصادر ذات الصلة.

Appendix الملحق

References & Suggested Readings المراجع ومصادر القراءة المقترحة

1. Richard M. Felder, Ronald W. Rousseau and Lisa G. Bullard, Felder's Elementary Principles of Chemical Processes, 4th edition, Wiley, 2017.
2. David M. Himmelblau and James B. Riggs, Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 9th edition, Pearson Education Limited 2024.
3. Robert H. Perry and Don W. Green, Perry's Chemical engineering Handbook, 7th edition, 1997.
4. Sikdar D. C., Chemical Process Calculations, PHI Learning Private Limited, Delhi- 110092, 2022.
5. Hougen Q.A., Watson K.M. and Ragatz R.A., Chemical Process principles, Material and Energy balances, CBS Publishers, 2nd edition , 2004
6. Robert E. and Treyball, Mass transfer operations, McGraw-Hill, New York, 1981.
7. M.Taki Al Kamil, Fluid Mechanics- Bilingual Text, Dar Al Fikr, Basra-Iraq, 2016.
8. M.Taki Al Kamil, Fluid Mechanics- Bilingual Text, 3rd edition, Archives.org. 2021.
9. M.Taki Al Kamil, Heat Transfer Basic Principles- Bilingual Text, Archives.org-2019.
10. M.Taki Al Kamil, Thermodynamics- Bilingual Text, Archives.org-2024.
11. Younus A. Cengel and Michael A. Boles, Thermodynamics, 8th edition McGraw-Hill Education, 2015.
12. Shular, M.L. and Kargi, F., Bioprocess Engineering Basic Concepts, Prentice-Hall of India, 2002.

Steam Tables

جداول بخار الماء

Steam tables are available on the internet and references 1,2 and 3.

جداول بخار الماء موفرة في الانترنت والمصادر 1 و 2 و3.

https://che.k-state.edu/docs/imported/SteamTable.pdf

Units and Conversions

الوحدات وتحويلها من نظام الى اخر

The systems of units is covered in chapter 1. Any extra requirements may be found in the internet.

تم تغطية انظمة الوحدات في الفصل الاول. يتوفر المزيد من المعلومات على الانترنتز

Unit Conversions - Physics - NWP Learning Commons at Northwestern Polytechnic (nwpolytech.ca)

Physical properties

الخواص الفيزيائية

Physical properties data for materials and molar heat capacity data can be retrieved from the internet through search on Google. For example: a search for the molar heat capacity of water gives:

تتوفر الخواص الفيزيائية وقيم السعة الحرارية المولية لمجموعة من المواد على الانترنت. فعلى سبيل المثال يعطي البحث عن قيمة السعة الحرارية المولية للماء:

C_P = 75.3 J/mol.K or J/mol.^{O}C

Data tables are also available in references 1, 2 and 3.

كما تتوفر جداول للمعلومات في المصادر 1 و 2 و 3.

INDEX	Page No. رقم الصفحة	الفهرست

اساسيات الهندسة الكيميائية

Fundamentals of Chemical Engineering

Bilingual textbook كتاب ثنائي اللغة

أعد هذا الكتاب لتعليم طلاب الدراسات الاولية طرق الحسابات الاساسية في مجال الهندسة الكيميائية، وهومناسب لطلاب الجامعات والمعاهد التقنية في الدول العربية.

This book is written to introduce basic chemical engineering calculations; it is suitable for university and technical college first degree students in Arabic countries.

OCTOBER 10, 2024

M. TAKI AL KAMIL **محمد تقي الكامل**